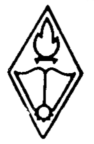
Ю. П. ГОРЛОВ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ТЕХНОЛОГИИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Допущено Министерством высшего
и среднего специального образования СССР
в качестве учебного пособия для студентов
строительных специальностей вузов



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1982

ББК 38.637
Г69
УДК 66.0

Рецензент:
чл.-кор. АН УССР Г. Д. Дибров

Горлов Ю. П.
Г69 Лабораторный практикум по технологии теплоизоляционных материалов. Учеб. пособие для строит. спец. вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. школа, 1982. — 239 с., ил.

45 к.

Лабораторный практикум состоит из двух частей. В первой приводится стандартная методика определения свойств теплоизоляционных изделий, основного сырья и некоторых формовочных смесей, во второй — учебно-исследовательские работы, охватывающие все важнейшие виды теплоизоляционных материалов, и методику их выполнения.
Предназначен в качестве учебного пособия для студентов строительных специальностей вузов.

Г $\frac{3203000000-601}{001\ (01)-82}$ 108—82 ББК 38.637 6П7.3

ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс «Технология теплоизоляционных материалов» является одним из основных специальных курсов при подготовке инженеров-строителей-технологов (специальность № 1207).

Развитию производства и улучшению качества строительных материалов вообще и теплоизоляционных в частности уделено большое внимание в «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года», принятых XXVI съездом КПСС.

При написании лабораторного практикума автор считал необходимым широко осветить основные методы определения главных и специфических свойств теплоизоляционных материалов различного назначения и некоторых видов сырья, наиболее широко применяющихся для производства теплоизоляционных материалов, а также дать набор лабораторных работ исследовательского характера, в результате выполнения которых студенты могли бы научиться решать небольшие задачи научно-исследовательского плана и изучать влияние технологических факторов на свойства готовых изделий и технико-экономическую сторону их производства. Такой подход к постановке лабораторного практикума способствует внедрению в учебный процесс исследовательской работы студентов.

В соответствии с этим весь лабораторный практикум разделен на две части.

В первой части «Методы определения показателей свойств теплоизоляционных материалов и некоторых видов сырья» изложена современная методика определения основных и специфических свойств теплоизоляционных материалов, а также дано описание лабораторного оборудования и приборов, применяющихся при проведении опытов.

Отдельные показатели свойств многочисленной группы теплоизоляционных материалов определяют методами общими или близкими между собой (плотности, прочности, теплопроводности, влажности, пористости и т. п.) и методами, пригодными для испытания только данного

материала (содержания «корольков» в минеральной вате, определение степени распушки асбеста, тонкости помола древесного волокна и др.). Знание этих методов необходимо для практической работы в заводских лабораториях при определении пригодности сырья и полуфабрикатов, контроле технологического процесса, установлении качественных показателей готовой продукции, а также в исследовательских лабораториях при выполнении комплекса работ по созданию новой технологии или новых видов теплоизоляционных изделий и оценке их эффективности.

Во второй части лабораторного практикума приведен примерный набор лабораторных работ, который поможет студентам изучить влияние технологических параметров на свойства готовых изделий и экономику производства того или иного материала. Набор работ охватывает основные виды теплоизоляционных материалов и изделий, широко применяющихся в строительстве и промышленности (минераловатные изделия, ячеистые бетоны, перлит и изделия из него, асбестосодержащие материалы, древесноволокнистые плиты).

При написании лабораторного практикума автор использовал большой опыт проведения лабораторных работ, накопленный на кафедрах строительно-технологического факультета Московского инженерно-строительного института им. В. В. Куйбышева, материалы других учебных и научно-исследовательских институтов (Всесоюзного заочного, Ленинградского, Киевского, Днепропетровского инженерно-строительных институтов, Всесоюзного научно-исследовательского и проектного институт Теплопроект, ВНИИтеплоизоляция, НИИЖБа и др., а также стандартные методы определения свойст строительных материалов и изделий.

Автор приносит глубокую благодарность чл.-кор Украинской АН, проф. Г. Д. Диброву за ценные замечания, сделанные в процессе рецензирования рукописи. § I.5 написан канд. техн. наук, доц. Н. Ф. Ереминым

Автор

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И НЕКОТОРЫХ ВИДОВ СЫРЬЯ

ГЛАВА I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Теплоизоляционными называют такие строительные материалы, которые имеют малую теплопроводность и используются благодаря этому для тепловой изоляции строительных конструкций зданий, а также горячих и холодных поверхностей различного оборудования и трубопроводов.

В настоящее время в Советском Союзе выпускают большое количество различных видов теплоизоляционных материалов, отличающихся друг от друга строением, свойствами, назначением. Их изготовляют из различных видов сырья, применяя различные способы получения высокопористого их строения. В зависимости от этого поры в материалах могут быть ячеистого строения, волокнистого, пластинчатого, смешанного и т. п.

Высокая пористость теплоизоляционных материалов — основное отличие их от других видов строительных материалов.

Многообразие видов теплоизоляционных материалов, в значительной степени отличающихся друг от друга строением и свойствами, предопределяет и многообразие методов определения их качественных показателей. Например, среднюю плотность (объемную массу) минеральной ваты определяют методом, отличающимся от метода, с помощью которого находят эту же характеристику ячеистого бетона или другого твердого (жесткого) теплоизоляционного материала. Аналогич-

ные различия существуют в методах определения и других показателей свойств. Имеются и такие определения, которые производятся только для одного вида материала (например, содержание «корольков» в минеральной вате).

В данной части лабораторного практикума приводятся наиболее распространенные методы определения свойств теплоизоляционных материалов, регламентированные ГОСТами, а также новые методы, разработанные и применяющиеся в научно-исследовательских институтах и вузах.

К основным показателям свойств теплоизоляционных материалов относят среднюю плотность, пористость, теплопроводность, прочность, влажность, морозостойкость, биостойкость, температуростойкость и некоторые другие показатели свойств, характерные для определенных видов теплоизоляционных материалов, как, например, огнеупорность, деформация под нагрузкой при высоких температурах, дополнительная усадка (рост), термическая стойкость и др.

Согласно ГОСТ 17177—71, при проведении испытаний по определению показателей свойств теплоизоляционных материалов и изделий необходимо выполнять следующие общие требования:

1. Температура помещения, в котором проводят испытания материалов, должна быть 20±2° С. Перед началом испытания материалы должны быть выдержаны в помещении в течение 3 ч.

2. Размеры образцов-изделий или образцов, изготовленных из изделий, определяют с точностью до 1 мм.

3. Образцы высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 105—110° С (для изделий или образцов из пенопластов или содержащих в своем составе гипс эта температура должна находиться в пределах 50—60° С). Высушивание продолжают до тех пор, пока разница в массе между двумя последующими взвешиваниями не будет превышать 0,1%.

§ 1. Средняя проба

Для определения свойств сырья или изделий от партии отбирают среднюю пробу. Правильный отбор средней пробы во многом влияет на достоверность показателей свойств испытываемых материалов.

Средней пробой называют относительно небольшое количество материалов, которое по своему химическому составу и физическим свойствам полностью соответствует партии этого материала.

Среднюю пробу отбирают непосредственно перед испытаниями партии сырьевых материалов или готовых изделий.

Размер партии определяется соответствующими ГОСТами или ТУ. Если размер партии не оговорен ГОСТом, то за партию материала принимают количество однородного материала, поступившего на производство или на склад единовременно. Если испытание того или иного материала проводят непосредственно в карьере, то среднюю пробу отбирают по всем выработкам, пересекающим полезную толщу.

При отборе средней пробы кусковых материалов (известняк, мергель, шлак и т. п.) следует иметь в виду, что крупные куски по своим свойствам и химическому составу могут отличаться от мелких кусков и пыли, поэтому рекомендуется отбирать все фракции примерно в том же соотношении, в каком они находятся в данной партии материала. При транспортировке кусковых и сыпучих материалов навалом мелкие куски и пыль скапливаются внизу вагона, баржи или контейнера. Среднюю пробу в этом случае следует отбирать в виде отдельных порций на разной глубине.

Среднюю пробу мелкозернистых материалов (цемента, песка и т. п.) отбирают с помощью специальных пробоотборников-щупов (рис. 1).

Отбор средней пробы жидких и полужидких материалов (шлама, суспензии, эмульсии и т. п.) производят, пользуясь пипетками, стеклянными трубками или специальными пробоотборниками. Например, для отбора пробы шлама или шликера используют специальные кружки (рис. 2). Кружку опускают на определенную глубину и тянут вверх веревку, прикрепленную к верхней крышке. Крышка поднимается, открывая загрузочное отверстие, и кружка заполняется шламом или шликером. При ослаблении веревки крышка под действием собственной массы падает вниз, закрывая отверстие. С помощью такого приспособления среднюю пробу шликеров или любой другой суспензии можно брать с любой глубины емкости.

Для проведения испытания обычно требуется относительно небольшое количество материала, значительно меньшее, чем его содержится в отобранной средней пробе, поэтому исходную среднюю пробу сокращают, доводя ее величину до требуемой. Одновременно с сокращением средней пробы материал измельчают дроблением или размалыванием.

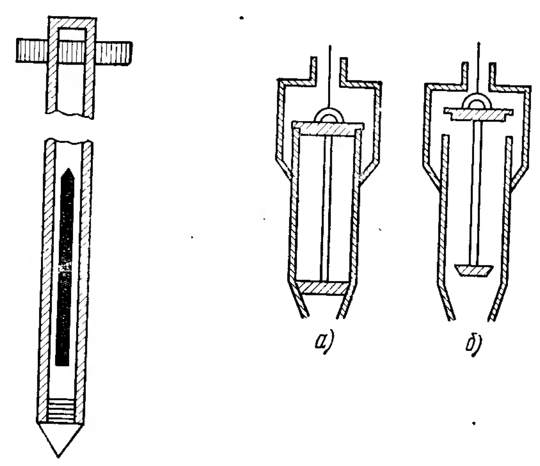


Рис. 1. Пробоотборник для мелкозернистых материалов

Рис. 2. Кружка для взятия пробы шлама или шликера:
а — закрыта; *б* — открыта

Наименьшее количество измельченной средней пробы, взятой для испытаний, называют лабораторной средней пробой. Эту пробу хранят в специальной таре, обычно предохраняющей материал от изменения его состава и влажности. Часть пробы предназначается для испытаний или анализа, а другая часть является резервной и используется при повторных испытаниях или арбитражном анализе.

Сокращение средней пробы кусковых и сыпучих материалов производят методами вычерпывания, квартования или с помощью специальных делительных аппаратов.

При сокращении средней пробы квартованием материал тщательно перемешивают и насыпают на ровную поверхность в виде конуса. Затем доской или совком

выравнивают таким образом, чтобы получился усеченный конус, который сверху делят двумя взаимно перпендикулярными линиями на четыре равные части. Две противоположные части отбрасывают, а две оставшиеся снова подвергают квартованию. Эту операцию продолжают до тех пор, пока средняя проба не достигнет необходимой величины.

Метод вычерпывания состоит в том, что небольшую по величине среднюю пробу сыпучего материала распределяют тонким слоем на стальном или фанерном листе и придают ей форму квадрата или прямоугольника. Затем квадрат или прямоугольник делят линейкой на девять, пятнадцать или двадцать квадратиков. Из каждого квадратика (или из каждого второго квадратика) шпателем или совочком отбирают определенную порцию материала. Отобранные порции ссыпают вместе и хорошо смешивают.

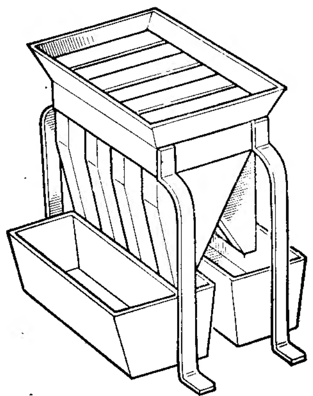


Рис. 3. Делительный аппарат

Методом вычерпывания сокращают небольшую по величине среднюю пробу. Обычно среднюю пробу вначале сокращают квартованием или с помощью делительного аппарата, а затем, когда она достигает небольшой величины, применяют метод вычерпывания.

Применение специальных аппаратов — делителей позволяет значительно ускорять процесс сокращения средней пробы. Существует большое число различных конструкций делительных аппаратов. Один из таких аппаратов (рис. 3) представляет собой бункер с несколькими равными по объему делениями. В бункер постепенно загружают среднюю пробу, которая равномерно распределяется по его отделениям. Часть пробы из одного или двух отделений подвергают дальнейшему сокращению, а остальную часть отбрасывают и т. д.

Среднюю пробу готовых изделий в зависимости от величины партии отбирают в виде определенного количества изделий следующим образом. Партию изделий, например диатомитового кирпича, укладывают в клетки

с примерным размером 1 × 1 и высотой 1,8—2,0 м (по 250 шт.). Из каждой клетки отбирают определенное количество кирпичей (обычно из разных мест клетки пять кирпичей).

Отобранная средняя проба готовых изделий проходит внешний осмотр. После этого отбирают минимальное количество изделий для проведения соответствующих испытаний. Оставшиеся изделия присоединяют к товарной партии.

Если готовые изделия подвергают физико-химическим испытаниям или химическому анализу, то от части образцов средней пробы откалывают куски, которые затем измельчают до необходимой величины частиц. Например, при химическом анализе огнеупорных легковесных материалов куски откалывают от всех изделий, освидетельствованных по внешнему виду, или от всех образцов, прошедших испытание на прочность при сжатии.

Подготовка образцов для испытаний. При испытании крупноразмерных теплоизоляционных изделий на прочность, среднюю плотность, теплопроводность, морозостойкость, влажность и т. д. из них обычно выпиливают, высверливают или вырезают образцы определенных размеров и формы. Форма и размеры образцов зависят от вида теплоизоляционного материала и характера испытаний.

Испытание изделий из ячеистых бетонов производят на образцах, выпиливаемых из отобранных для испытания плит или панелей. Обычно испытание на прочность при сжатии, морозостойкость, водопоглощение и среднюю плотность производят на образцах размером 10 × 10 × 10 или 7 × 7 × 7 см. Образцы выпиливают в количестве трех штук для каждого вида испытания из разных частей изделия. Выпиливание образцов следует производить таким образом, чтобы поверхность изделия не являлась поверхностью образца. Это делается потому, что при изготовлении изделий в местах соприкосновения с формой ячеистый бетон уплотняется и на расстоянии 7—10 мм от поверхности его свойства отличаются от свойств внутренних слоев изделия.

Определение средней плотности минераловатных плит производят на целых изделиях, а для определения прочности при разрыве из них (вдоль волокон) вырезают по три образца размером 260 × 50 мм.

Величину уплотнения плит под нагрузкой определяют на образцах размером 100 × 100 мм, которые вырезают по три штуки из каждой отобранной для испытания плиты по диагонали.

Влажность плит и содержание связующего вещества в изделиях определяют на образцах в виде цилиндров диаметром 10 мм, которые высверливают пробочным сверлом в количестве 12 шт. из разных мест изделия.

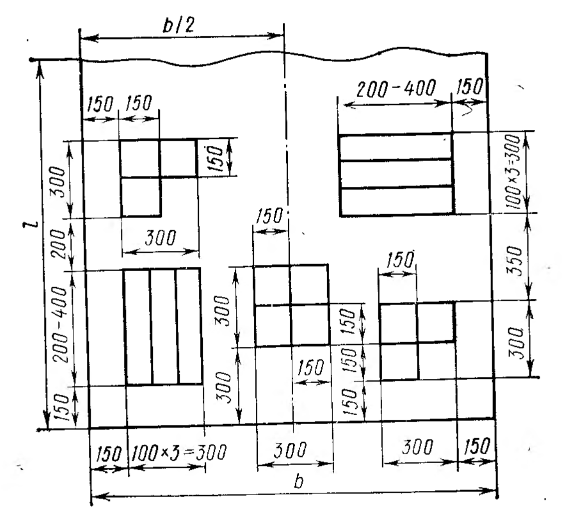


Рис. 4. Схема разрезки древесноволокнистых плит на образцы для испытания их физико-механических свойств

Испытание всех жестких и полужестких теплоизоляционных материалов на теплопроводность производят на образцах-дисках диаметром 250 мм и толщиной не менее 10 мм.

Контроль качества древесноволокнистых плит путем определения их физико-механических свойств производят на образцах, которые вырезают из плит по схеме, показанной на рис. 4.

Образцы в виде квадрата предназначены для определения средней плотности, влажности, водопоглощения, теплопроводности; образцы в виде балочек — для определения прочности плит при изгибе в продольном и поперечном направлениях.

Все мелкоразмерные теплоизоляционные материалы в виде кирпича, небольших плит и блоков испытывают в основном на целых изделиях, а сыпучие (перлит, вермикулит и т. п.) и рыхлые (комовая минеральная вата, распушенный асбест и т. п.) — путем отбора и испытания средней пробы.

§ 2. Определение влажности

Теплопроводность теплоизоляционных материалов резко возрастает при их увлажнении. Влияние влажности на теплопроводность материалов объясняется тем, что теплопроводность воздуха и воды отличаются друг от друга примерно в 20 раз, поэтому определение влажности теплоизоляционных материалов и конструкций является одним из основных испытаний.

Влажность характеризует степень увлажнения материала и обычно выражается в процентах по массе или объему.

Влажность $W_а$ — отношение массы влаги, содержащейся в материале, к массе самого материала в абсолютно сухом состоянии

$$W_а = \frac{m - m_1}{m_1} 100,$$

где m — масса пробы до высушивания, кг (г); m_1 — масса пробы, высушенной до постоянной массы, кг (г).

Существует несколько способов определения влажности теплоизоляционных материалов. Это — методы, основанные на нагревании (высушивании) материалов в сушильном шкафу, ускоренные методы и методы косвенного определения влажности, например, основанные на изменении электропроводности материалов в зависимости от их увлажнения. Последняя группа методов не нашла широкого применения при испытании теплоизоляционных материалов из-за отсутствия надежных датчиков для определения влажности.

Методы высушивания материалов. Обычно влажность того или иного теплоизоляционного материала определяют путем испарения из него воды в лабораторных сушильных шкафах. Методика такого определения заключается в следующем.

Отобранную пробу материала помещают в герметически закрытый сосуд и взвешивают с точностью до

0,1 г. Затем сосуд с пробой помещают в сушильный шкаф, снимают крышку и высушивают пробу материала до постоянной массы при температуре 105—110° С. Содержание влаги в материале вычисляют по формуле

$$W = \frac{m_1 - m}{m - m_2} 100,$$

где m_1 — масса чашки с навеской влажного материала; г; m — масса чашки с высушенным материалом; г; m_2 — масса пустой чашки с крышкой, г.

Отбор проб и установление средней влажности партии материала производят следующим образом.

1. Для рыхлых теплоизоляционных материалов (минеральной и стеклянной ваты, вспученных перлита и вермикулита и т. п.) общая проба должна быть не менее 30 г и состоять из трех навесок не менее чем по 10 г каждая, взятых из отобранных для испытания любых трех упаковочных мест.

2. Для определения влажности гибких материалов (например, минерального войлока) общая проба должна быть не менее 15 г и состоять из трех навесок по 5 г каждая, взятых из трех различных мест отобранного для испытания полотнища (изделия). Влажность такой пробы принимают за среднюю влажность одного изделия, а влажность партии вычисляют как среднюю арифметическую величину по результатам испытания трех отобранных для этой цели изделий.

3. Для определения влажности жестких теплоизоляционных материалов (изделий из ячеистых бетонов, керамических, известковокремнеземистых, фибролитовых изделий и т. п.) общая проба должна быть не менее 20 г и состоять из двух навесок по 10 г каждая, взятых из каждого изделия, отобранного для испытания. Среднюю влажность партии вычисляют как среднюю арифметическую величину по результатам испытания трех отобранных для этой цели изделий.

Ускоренные методы. Эти методы основаны на использовании радиационного теплового потока. Они отличаются от обычного метода тем, что высушивание материала производят не в сушильном шкафу, а инфракрасными лучами. При этих методах продолжительность высушивания навески материала не превышает 15 мин.

Прибор для сушки материалов инфракрасными лучами показан на рис. 5. Он состоит из лампы *1* мощ-

ностью 500 Вт, излучающей инфракрасные лучи, закрепленной в патроне *2*, штатива *5* с держателем *3* и муфтой *4*, защитного жестяного кожуха *6* и подъемного столика *7*, на который устанавливают чашечку с навеской испытуемого материала.

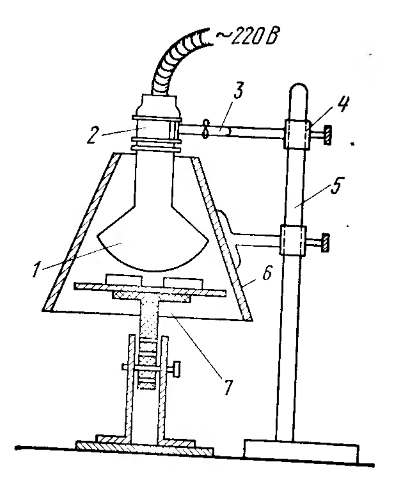


Рис. 5. Прибор для сушки материалов инфракрасными лучами

Влажность материала вычисляют по той же формуле, что и при обычном методе.

Второй прибор (влагомер МХТИ, рис. 6), основанный на применении инфракрасных лучей, более совершенен и очень удобен в работе, благодаря чему он получил широкое применение. В комплект влагомера входят 200-граммовые весы *1*, инфракрасная лампа *3* мощностью 500 Вт, кронштейн *5*, отражатель *4*, зажим *6*, с помощью которого фиксируется положение лампы, трансформатор *7*, который позволяет регулировать напряжение вторичного переменного тока путем плавного поворота рукоятки *8*, и чашка для материала *2*.

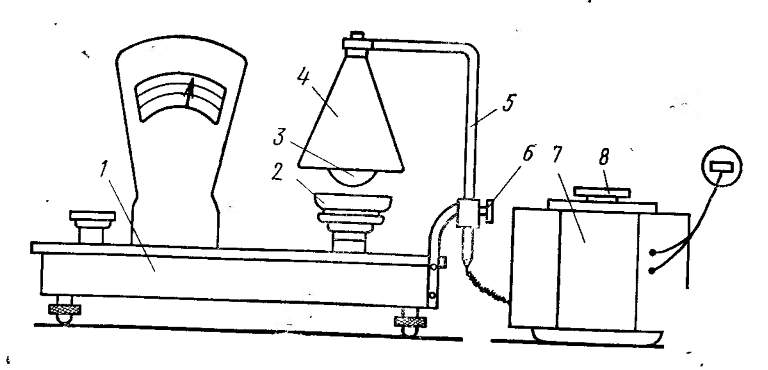


Рис. 6. Влагомер МХТИ

Для удобства отсчета шкала весов имеет две градуировки: верхнюю, по которой можно отсчитывать количество испарившейся влаги в процентах, и нижнюю, которая служит для отчета убыли массы влаги из материала в граммах.

На этом приборе определение влажности материала производят следующим образом.

Навеску материала предварительно измельчают, отвешивают 20 г и помещают в чашку влагомера. Трансформатор включают и, плавно поворачивая рукоятку, постепенно увеличивают накал лампы. При этом следует помнить, что температура материала должна быть не более 110° С. Измерение температуры материала производят ртутным термометром, периодически вводя его в материал. Сушка материала считается законченной после того, как стрелка весов в течение 6—7 мин будет находиться на одном и том же делении шкалы. Отсчет испаренной влаги производят по нижней шкале, а влажности материала — по верхней и данные отсчетов записывают в рабочий журнал.

§ 3. Определение водопоглощения и сорбционной влажности (гигроскопичности)

Величины водопоглощения и гигроскопичности теплоизоляционных материалов во многом определяют их теплоизоляционные свойства в конструкциях. Знание этих показателей необходимо для правильного конструирования тепловой изоляции, ее защиты от увлажнения, если теплоизоляционный материал характеризуется высокими показателями водопоглощения и гигроскопичности.

Для определения водопоглощения изготовляют образцы размерами в плане 100 × 100 мм и толщиной, равной толщине изделия, из которого они вырезаны. Образец высушивают до постоянной массы и погружают его в воду температурой 20±3° С, затем покрывают сеткой, на которую помещают пригруз из такого расчета, чтобы первые 3 ч образец был погружен в воду до половины толщины, а все остальное время полностью находился в воде. После 24 ч образец вынимают из воды, удаляют с его поверхности избыточную воду мягкой влажной тканью и сразу же взвешивают. Масса воды, вытекающая из пор материала на чашку весов во

время взвешивания, включается в определяемую массу водонасыщенного образца.

Водопоглощение $W_в$ в процентах по массе вычисляют с точностью до 0,1%

$$W_в = \frac{m_1 - m}{m} 100,$$

где m — масса сухого образца, г; m_1 — масса водонасыщенного образца, г.

Сорбционную влажность определяют на таких же образцах, если же испытывают сыпучий материал, то его отвешивают в количестве 15 г. Образцы высушивают до постоянной массы, а затем взвешивают с точностью до 0,01 г.

Взвешенный образец или пробу (в предварительно взвешенном бюксе) помещают над водой, налитой в эксикатор, установленный в термостат, в котором поддерживают температуру 20±3° С. Объем образца или материала не должен превышать 50% объема воздушного пространства эксикатора.

Через 72 ч образец или пробу-образец (пробу) вынимают из эксикатора и взвешивают с точностью до 0,01 г.

Сорбционная влажность, или гигроскопичность, в процентах:

$$W_с = \frac{m_1 - m}{m} 100,$$

где m — масса сухого образца (пробы), г; m_1 — масса образца (пробы) после насыщения парами воды, г.

§ 4. Определение средней и насыпной плотности

Под средней плотностью материалов понимают отношение массы образца в сухом состоянии к его объему. Для материалов, представляющих собой куски различной крупности (сыпучие материалы), применяют понятие насыпной плотности, представляющей собой отношение массы материала в насыпном состоянии к его объему.

Все основные свойства теплоизоляционных материалов связаны с их пористостью, но самую непосредственную связь с пористостью имеет средняя (насыпная) плотность. Знание этой характеристики позволяет судить о теплозащитных свойствах теплоизоляционного материала. По величине средней плотности теплоизоляционные материалы делят на марки: 15, 25, 35, 50, 75, 100, 125, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600.

Маркой считают наибольшее значение средней плотности в пределах одного из вышеприведенных интервалов. Например, материал со средней плотностью 310 кг/м³ относят к марке 350, со средней плотностью 27 кг/м³ — к марке 35 и т. п.

Все теплоизоляционные материалы можно разделить на три группы: *жесткие* (штучные теплоизоляционные материалы, выпускаемые в виде изделий определенной заданной формы), *гибкие* (в виде крупноразмерных матов, матрацев и т. п.) и *рыхлые* (минеральная и стеклянная вата, вспученные перлит и вермикулит, стеклопор).

Методы определения средней (насыпной) плотности различных видов теплоизоляционных материалов в значительной мере отличаются друг от друга.

Определение средней плотности жестких теплоизоляционных материалов осуществляют измерением линейных размеров и взвешиванием самих изделий или измерением и взвешиванием образцов, выпиливаемых, высверливаемых или вырезаемых из различных частей изделий. При этом обычно образцы предварительно высушивают при температуре 105—110° С. Средняя плотность (кг/м³)

$$\rho_{ср} = m/V,$$

где m — масса образца или изделия, кг; V — объем образца или изделия, м³.

При определении средней плотности изделия в естественно влажном состоянии применяют формулу

$$\rho_{вл} = \frac{m}{V(1 + 0,01\, W_а)},$$

где $W_а$ — абсолютная влажность материала, по массе, %.

Размеры образцов и изделий находят с помощью металлического измерительного инструмента (линейки, штангенциркуля). Длину и ширину изделий измеряют не менее чем в трех местах — у краев и в середине, а толщину в пяти-шести местах. Например, толщину фибролитовых плит измеряют в шести точках; на расстоянии 100 мм от каждого края и в двух местах по

продольной осевой линии плиты. Измерение толщины может производиться штангенциркулем или специальным прибором — толщиномером (рис. 7). Толщиномер применяют для измерения толщины торфяных, жестких минераловатных и теплоизоляционных древесноволокнистых плит. Точность измерения толщины плит при использовании штангенциркуля и толщиномера составляет 0,1 мм, а при использовании линейки — 1 мм.

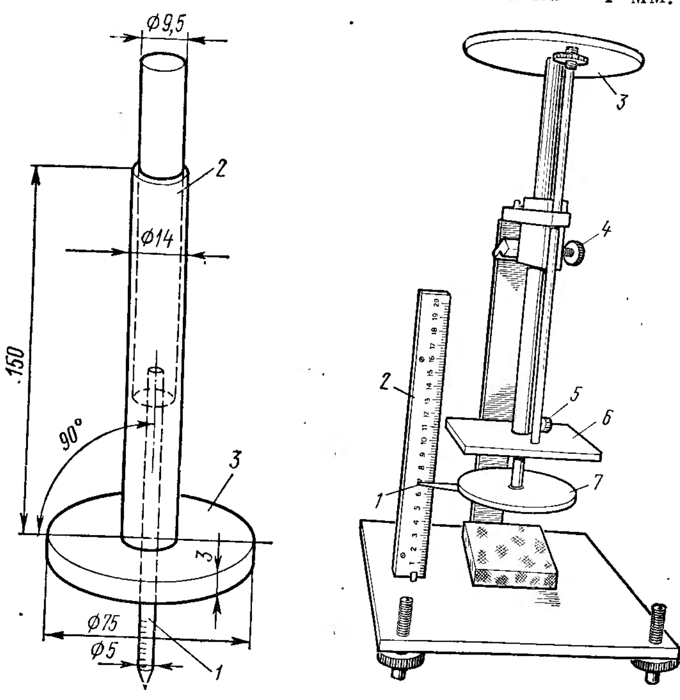


Рис. 7. Толщиномер:
1 — игла с делениями; *2* — трубка; *3* — опорный диск

Рис. 8. Прибор для определения толщины эластичных материалов под нагрузкой

Объем образца или изделия вычисляют как среднюю арифметическую величину всех проведенных измерений.

Среднюю плотность партии материала вычисляют как среднюю арифметическую величину не менее чем трех определений. При этом взвешивание образцов производят с точностью до 0,1 г, а изделий — до 1 г.

Определение средней плотности гибких теплоизоляционных материалов ведут следующим образом. Из разных мест каждого из трех полотнищ войлока, отобранных для испытаний, вырезают по три образца размером 100 × 100 мм. Взвешенный с точностью до 0,01 г образец укладывают на основание специального прибора (рис. 8) *. Пластинку *7* массой 0,5 кг подводят вплотную к пластинке *6* и закрепляют винтом *5*. Затем пластинки *7* и *6* опускают вниз, не доводя нижнюю поверхность пластинки *7* на 1—2 см до поверхности образца, и закрепляют их винтом *4*. Ослабив винт *5*, опускают пластинку *7* на поверхность образца, оставляют ее в этом положении 5 мин, после чего с помощью стрелки *1* производят отсчет по шкале *2* и определяют толщину образцов войлока под давлением 0,0005 МПа. Подвижная пластина *3* используется и при других испытаниях минераловатных изделий.

Средняя плотность войлока (кг/м³)

$$\rho_{ср} = \frac{m}{V(1 + 0{,}01\,W)}.$$

Средняя плотность партии войлока будет характеризоваться средней арифметической величиной девяти определений (девять образцов из трех изделий).

Средняя (насыпная) плотность рыхлых теплоизоляционных материалов волокнистого строения зависит от многих факторов. Например, на среднюю плотность минеральной ваты оказывает влияние толщина волокон, количество «корольков» (стекловидных невытянувшихся в волокна включений шаровидной или грушевидной формы размером более 0,25 мм), степень уплотнения ваты. Для получения сравнимых результатов среднюю плотность волокнистых материалов определяют под постоянным давлением. Например, среднюю плотность минеральной ваты определяют в специальном приборе (рис. 9) под давлением 0,002 МПа. С этой целью берут пять навесок ваты по 0,5 кг каждая. Взвешивание производят с точностью до 1 г. Вата для каждой навески отбирается как средняя проба (из пяти упаковочных мест отбирают по 0,5 кг ваты).

Навеску ваты слоями укладывают в металлический цилиндр *1*. Сверху на вату с помощью подъемного

---

* Прибор К. Э. Горяйнова, В. А. Прибылова, С. Т. Рохленко.

устройства *4* опускают металлический диск *2* массой 7 кг, что соответствует давлению на вату 0,002 МПа. Под нагрузкой вату выдерживают 5 мин и затем определяют высоту слоя ваты с помощью шкалы, нанесенной на стержне *3*. Вычисляют объем ваты и, зная ее

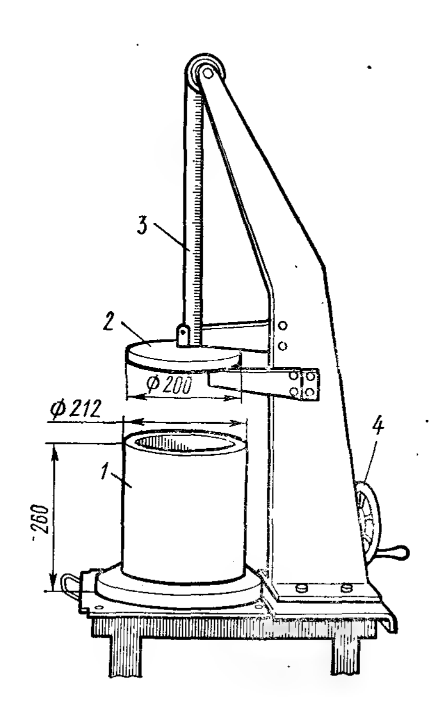


Рис. 9. Прибор для определения средней плотности рыхлых (волокнистых) теплоизоляционных материалов

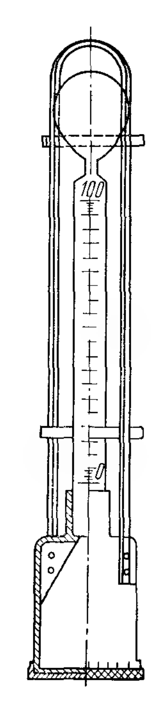


Рис. 10. Песочный объемомер

массу, определяют среднюю плотность. Среднюю плотность данной партии ваты вычисляют как среднее арифметическое значение по результатам пяти определений.

Насыпную плотность зернистых и порошкообразных теплоизоляционных материалов определяют путем взвешивания их в мерных сосудах. Размеры мерного сосуда в зависимости от размеров зерен материала выбирают по табл. 1.

Таблица 1

Предельная крупность зерен материала, мм	Объем мерного цилиндра, л	Размеры цилиндра, мм	
		диаметр	высота
До 5	1	108	108
10	2	137	136
20	5	185	186
До 40	10	—	—
Более 40	20	—	—

Материал в сосуд засыпают с высоты 5 см с помощью воронки или лотка до образования конуса. Избыток материала снимают металлической линейкой без уплотнения. Сосуд, масса которого известна, с материалом взвешивают с точностью до 1 г и по известной формуле определяют насыпную плотность материала.

Среднюю плотность кусков (зерен) рыхлого теплоизоляционного материала (например, перлитового щебня, керамзитового гравия и т. п.) определяют с помощью песочных объемомеров или погружением в мерные цилиндры, заполненные водой.

При использовании песочного объемомера (рис. 10) зерно испытуемого материала помещают внутрь прибора. Объем зерна будет равен разности между уровнями песка в приборе с образцом и без него.

Более точно объем куска (зерна) материала можно измерить при погружении его в воду, т. е. по объему вытесненной им воды. С этой целью высушенный до постоянной массы и предварительно взвешенный с точностью до 0,1 г образец парафинируют (покрывают тонким слоем расплавленного парафина), а затем погружают в воду, находящуюся в мерном цилиндре. Как правило, средняя плотность кусков пористых материалов ниже плотности воды, поэтому полное погружение образца достигается с помощью металлического диска, объем которого известен. Объем образца вычисляют по количеству вытесненной им воды. При этом учитывают объем металлического диска и парафина. Объем парафина

$$V = m/0{,}93,$$

где m — масса парафина, нанесенного на образец, г; 0,93 — плотность парафина, г/см³.

Зная объем образца и его массу, подсчитывают среднюю плотность данного куска. Для определения средней плотности «в куске» партии материала производят несколько десятков определений и вычисляют среднюю арифметическую величину.

Определение средней плотности текучих формовочных масс (растворных смесей, пеномасс, шликеров) осуществляют для контроля технологических процессов при производстве тех или иных теплоизоляционных материалов. Это, например, требуется при изготовлении изделий из ячеистых бетонов, из пенокерамических или известково-кремнеземистых масс и т. п.

Среднюю плотность смесей, находящихся в жидкотекучем состоянии, определяют в цилиндрическом сосуде емкостью 1 л. Сосуд наполняют испытуемой смесью, избыток смеси срезают шпателем или металлической линейкой и взвешивают сосуд с массой с точностью до 1 г. Вычитая из общей массы массу сосуда, узнают массу смеси. Плотность смеси вычисляют как среднее арифметическое по результатам двух измерений.

Если испытывают смесь с малой подвижностью (до 6 см), то ее уплотняют на вибростоле в течение 30 с или на встряхивающем столике, производя 120 ударов (встряхиваний). В этом случае на сосуд сверху надевают специальную насадку, позволяющую заполнять мерный сосуд с некоторым избытком. После уплотнения насадка снимается, а избыток смеси удаляется металлической линейкой.

Определение средней плотности мастичных материалов. Отобранную пробу материала затворяют водой до нормальной (рабочей) консистенции, которую определяют с помощью стандартного конуса. Нормальная консистенция раствора соответствует глубине погружения конуса на 100±10 мм. Затем в специальные формы, предварительно очищенные и смазанные, размером 200 × 50 × 25 мм укладывают испытуемую смесь, уплотняя ее в углах формы кончиком ножа и заглаживая поверхность ножом или шпателем заподлицо с бортами формы.

Заполненные формы помещают в сушильный шкаф,

где образцы высушивают до постоянной массы, затем их вынимают из форм и отшлифовывают.

Полученные образцы измеряют с точностью до 0,1 мм, взвешивают с точностью до 0,1 г и вычисляют среднюю плотность, кг/м³,

$$\rho_{ср} = \frac{m_с}{V} 1000,$$

где $m_с$ — масса сухого образца, г; V — объем образца, см³.

§ 5. Определение пористости

Главной особенностью строения теплоизоляционных материалов является высокая пористость, определяющая их основные физико-механические свойства. Для многих из этих материалов большое значение имеет *характер* пористости (вид и строение пор) или так называемая пористая структура материала, которая в зависимости от вида пор может быть ячеистой, зернистой, волокнистой, пластинчатой, сотовой и смешанной.

Для материалов волокнистого и пластинчатого строения, так же как и смешанного, определение размеров пор и, тем более, характера их распределения в материале весьма затруднительно. Такие материалы, как минеральная вата и изделия из нее, изделия с применением асбеста и растительных волокон, как правило, характеризуются только общей пористостью, величина которой в отдельных случаях может достигать 95—97%.

Зернистое строение пористости характерно для сыпучих теплоизоляционных маетриалов. Общая пористость таких материалов выражается суммой межзерновых пустот и собственной пористости зерен. Величина межзерновой пустотности зависит от гранулометрии зерен материала. При сферической или близкой к ней форме зерен наибольшую пустотность имеет материал с зернами одинакового размера (до 48%).

Основные свойства теплоизоляционных материалов ячеистого строения (ячеистых бетонов, пеностекла, пенокерамики и т. п.): средняя плотность, прочность, теплопроводность, водопоглощение, морозостойкость, термическая стойкость определяются не только величиной общей пористости. Для этой группы материалов важ-

ное значение имеет величина пор, их характер и распределение по размерам.

В материалах пористого строения различают истинную пористость и кажущуюся (открытую пористость).

Истинной пористостью ($П_0$) материала называют степень заполнения его объема порами.

Кажущаяся пористость — это отношение объема, занятого в материале порами, сообщающимися между собой и с атмосферой, к объему материала.

Таким образом, сумма открытых и закрытых пор дает значение истинной пористости данного материала. Обычно истинную пористость выражают в процентах:

$$П_0 = \left(1 - \frac{\rho_{ср}}{\rho}\right) 100,$$

где $\rho_{ср}$ — средняя плотность материала; ρ — истинная плотность материала (без учета пор и пустот).

Существует ряд способов, позволяющих количественно определять как общую пористость материалов, так и ее характер. Наибольшее распространение получили способ водонасыщения, с помощью которого определяют кажущуюся пористость, ртутная порометрия, оптический и фотоэлектронный методы.

Определение кажущейся пористости теплоизоляционных материалов производят одним из следующих способов: а) насыщением пор образца испытуемого материала водой или керосином под вакуумом; б) насыщением пор образца материала водой при кипячении.

Выбор методики зависит от природы испытуемого материала, а также от наличия соответствующего оборудования. При наличии необходимого оборудования во всех случаях определение кажущейся пористости рекомендуется производить способом насыщения жидкостью (водой или керосином в зависимости от реакционной способности испытуемого материала к воде) под вакуумом.

Образцы объемом не менее 100 см^3 тщательно очищают жесткой волосяной щеткой, высушивают до постоянной массы при температуре 105—110° С и взвешивают с точностью до 0,1 г. Затем образцы помещают в вакуум-эксикатор (рис. 11), представляющий собой герметическую емкость *3*, имеющую выходной патрубок *5*, с помощью которого емкость присоединяется к вакуум-насосу, и отверстие *2* для заливки жидкости.

Емкость соединена с вакуумметром *4*, который служит для контроля разрежения и имеет водомерное стекло *1* для замера уровня жидкости.

Образцы устанавливают на сетчатую подставку *6* и вакуумируют в течение 10 мин при остаточном давлении 0,02—0,03 Па. После этого под вакуумом образцы постепенно заливают жидкостью и выдерживают в ней в течение 5 мин. Уровень жидкости должен быть на 2 см выше поверхности испытуемых образцов. После окончания опыта сосуд отключают от насоса с помощью клапана и соединяют с атмосферой. Образцы вынимают, вытирают их поверхность влажной мягкой тканью и взвешивают вначале на воздухе, а затем на гидростатических весах. Поры считают насыщенными, если в течение 1 ч выдерживания образцов в жидкости при гидростатическом взвешивании их масса увеличится не более чем на 0,1%.

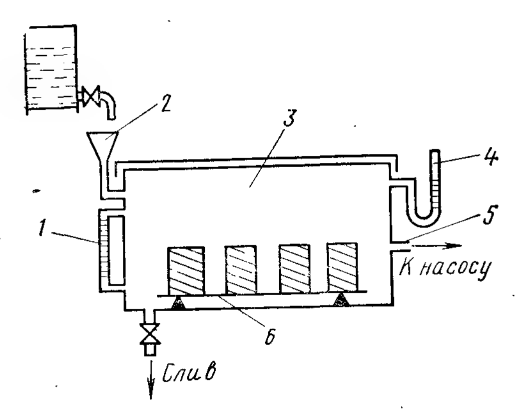


Рис. 11. Вакуум-эксикатор

При определении кажущейся пористости материала методом кипячения в воде образцы, высушенные до постоянной массы и взвешенные с точностью до 0,1 г, помещают в сосуд с водой таким образом, чтобы уровень воды был на 2 см выше уровня верхней поверхности образцов. Образцы выдерживают в кипящей воде в течение 3 ч, после чего их охлаждают до температуры 20—30° С, вынимают из воды, удаляют воду с поверхности мягкой тканью и взвешивают на воздухе и на гидростатических весах.

Кажущуюся пористость в обоих случаях вычисляют (%)

$$П_к = \frac{m_2 - m_1}{(m_2 - m_3)} 100,$$

где m_1 — масса образца до насыщения водой; m_2 — масса образца после насыщения водой (жидкостью) при взвешивании на воздухе; m_3 — масса образца после насыщения при гидростатическом взвешивании.

При отсутствии гидростатических весов объем образца (знаменатель дроби в вышеприведенной зависимости) правильной геометрической формы можно определить непосредственным замером, который производят по методике, приведенной в § 4 настоящей главы.

Обычно кажущуюся пористость определяют одновременно с водопоглощением данного материала. Величина кажущейся пористости — это объемное водопоглощение материала.

Следует помнить, что определять кажущуюся пористость методом кипячения можно лишь в том случае, когда структура испытуемых материалов от этого не нарушается. Этот метод непригоден для таких материалов, как минераловатные изделия на битумном связующем, древесноволокнистые плиты, доломитовые, совелитовые и вулканитовые изделия.

Измерение *поверхностной пористости и размеров пор* на фотоэлектронной установке. Данный способ разработан в МИСИ им. В. В. Куйбышева. Он позволяет быстро и с достаточной точностью получать характеристики пористости материалов с ячеистым строением с помощью специальной фотоэлектронной установки (рис. 12). Сущность метода заключается в следующем. Поверхность высушенного до постоянной массы образца шлифуют и окрашивают контактным способом белой матовой эмалью. Затем поверхность образца покрывают тонкодисперсной голландской сажей, которая при этом забивает все поверхностные поры шлифа. После этого сажу смывают с поверхности образца водой. Таким образом, все внутренние поверхности пор оказываются окрашенными в черный цвет, а поверхности стенок пор — в белый цвет.

Принцип работы установки основан на измерении светового потока, отраженного от поверхности шлифа. **Величина светового потока зависит от соотношения черных (пор материала) и белых (стенок пор) участков поверхности образца. Если обозначить объем части образца, находящейся вблизи рассматриваемого сече-**

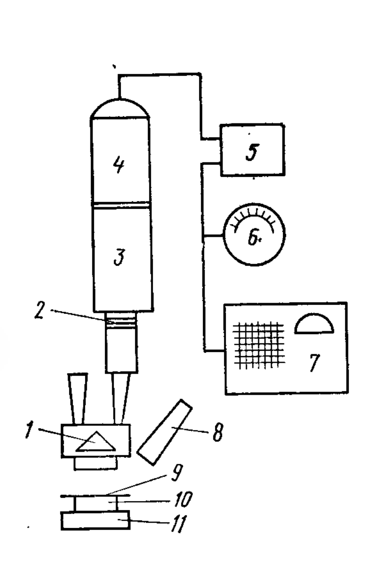


Рис. 12. Схема фотоэлектронной установки:

1 — оптическая система; *2* — светофильтры; *3, 4* — фотоумножитель в светонепроницаемом кожухе; *5* — выпрямитель; *6* — микроамперметр; *7* — пересчетное устройство; *8* — осветитель; *9* - диафрагма; *10* — испытуемый образец; *11* — предметный столик

Рис. 13. Общий вид фотоустановки ФМН-2

ния, через V, а объем пор, находящихся в данной части образца, V_1, то общая пористость материала, %:

$$П_0 = \frac{V_1}{V} 100.$$

Фотоэлектронная установка состоит из стереоскопического микроскопа МБС-2, фотоумножителя, пересчетного электронного прибора ПС-10000. Образец испытуемого материала, подготовленный указанным выше способом, помещают на подвижный столик микроскопа под систему диафрагм с отверстиями различных размеров, предназначенных для ограничения рассматриваемого

участка исследуемого образца. Вместо одного из окуляров микроскопа устанавливают специальную оптическую систему, связанную с фотоумножителем. При прохождении части отраженного от образца светового потока в фотоумножителе возникают импульсы, регистрируемые пересчетным устройством. Зная площадь шлифа, ограниченную диафрагмой, и имея данные об отраженном световом потоке, по системе уравнений подсчитывают общую пористость образца. Обычно к фотоэлектронной установке прилагается тарировочный график, позволяющий, не решая системы уравнений, непосредственно определять общую пористость материала и размер отдельных пор. В связи с тем, что световой поток, попадающий в пересчетный прибор, линейно зависит от площади отражающей поверхности, то для построения тарировочного графика достаточно иметь две точки, определенные по величине светового потока, отраженного только от белой и только черной поверхностей, площадь которых заранее известна.

Определение размеров пор производят на тех же образцах, на которых измерялась общая пористость материала. Для этого на поверхности шлифа соответствующим подбором диафрагмы выделяют отдельную пору и определяют величину светового потока для участка поверхности, ограниченного отверстием диафрагмы. Диафрагму накладывают таким образом, чтобы ее отверстие ограничивало участок поверхности, включающий одно данное сечение поры и окружающий ее белый фон.

Исследование пористости *микроскопическим* способом. Определение характера пористости материала под микроскопом отличается большой трудоемкостью. Однако из всех существующих этот способ является единственным, позволяющим судить не только о распределении пор в материале по размерам, но и о их форме.

При проведении опытов по изучению пористости обычно пользуются микроскопами МБС-2 и МБ-9, а также фотоустановкой ФМН-2.

Количественное определение размеров пор и характера их распределения в материале при применении одного из типов микроскопа сводится к следующему. Испытуемый образец после распиловки и продувки поверхности помещают на предметный столик микроскопа и хорошо освещают. Кратность увеличения оптической системы микроскопа принимают в зависимости от наименьшего диаметра пор испытуемого материала. Для исследования пористости ячеистого строения обычно применяют объектив с 7—8-кратным увеличением и окуляр с увеличением в 10—12 раз.

В окуляр вставляют стеклышко с сеткой, цена деления которой известна. Перемещением предметного столика микроскопа в горизонтальной плоскости на образце выбирают участок с наиболее характерной для данного материала структурой. На выбранном участке с помощью сетки определяют размеры не менее 200 пор. Для удобства подсчета каждую пору после определения ее размеров закрашивают тушью или чернилом с помощью иглы или тонкого пера. По полученным данным строят диаграмму распределения пор по размерам и подсчитывают средний диаметр пор данного образца.

Для определения структурной пористости материала более удобно пользоваться фотоустановкой ФМН-2 (рис. 13). Установка состоит из зеркальной фотокамеры *2*, перемещаемой по штанге *1* и соединенной посредством гармошки *3* через затвор *4* с объективом *5*. Вся система укреплена на станине *6*. Полый стол *8* станины позволяет работать и с прозрачными шлифами, которые освещаются источником света 7 через систему зеркал.

При работе в отраженном свете подготовленный образец помещают на предметный столик установки и хорошо освещают. Подбором соответствующих объективов, а также перемещением низа и верха гармошки по штанге прибора добиваются четкого изображения структуры рассматирваемого образца при необходимой степени его увеличения. Если необходимо более сильное увеличение, то объектив установки заменяют тубусом, который соединен с окуляром обычного микроскопа. В этом случае микроскоп закрепляют на столе установки таким образом, чтобы его окуляр был соединен с тубусом установки. Для определения размеров пор образца на экране зеркальной камеры закрепляют сетку, размер ячеек которой известен.

Установка позволяет фотографировать структуру исследуемых образцов, что в значительной степени облегчает подсчет пористости и определение размеров пор. Однако необходимо помнить, что при обработке фотоснимков возникает некоторая неточность, так как при фотографировании размер пор получается несколь-

ко искаженным. Подсчитанные по фотографиям данные пригодны лишь для сравнительной характеристики примерно одинаковых структур.

Математическая обработка экспериментальных данных. Важнейшим показателем результатов проведенного эксперимента является средняя арифметическая результатов отдельных опытов. При помощи этой средней арифметической можно получать сводные статистические характеристики, необходимые для изучения и анализа различных свойств исследуемого материала.

Средняя арифметическая — это тот предел, около которого группируются отдельные значения наблюдаемых и изучаемых характеристик. Средняя арифметическая — частное от деления суммы значений какого-либо признака на число элементов совокупности. В статистике средняя арифметическая обычно обозначается через $\overline{X}$, отдельные значения признака (или частные результаты опыта) — через x_1, x_2, x_3 и т. д., а общее количество признаков (или количество опытов) — n. Таким образом

$$\overline{X}=\frac{x_1+x_2+\ldots+x_n}{n}=\frac{\sum x}{n}.$$

Обычно при подсчете средних размеров пор материала, да и вообще средних значений любых свойств, при значительном количестве экспериментов размер каждой поры в отдельности не замеряют, а подсчитывают количество пор в каком-нибудь определенном интервале размеров, например от 0 до 0,5 или от 0,5 до 1,0 мм и т. д. Значение признака (размер пор), соответствующее каждому отдельному интервалу, называется вариантом (x_1, x_2, x_3 и т. д.), а абсолютная численность — весом соответствующего варианта (m_1, m_2, m_3,...). Следовательно, сумма значений признака в пределах интервала равна произведению варианта на его вес $x_i m_i$. В этом случае формула средней величины, называемой средневзвешенной, имеет вид

$$\overline{X}=\frac{\sum x_i m_i}{\sum m_i},$$

т. е. средневзвешенная арифметическая величина равна сумме произведения вариантов на их веса, разделенной на сумму весов.

Если вес варианта m отнести ко всей совокупности весов Σm, то получим величину, называемую частностью ω. Для варианта x_i имеем $\omega = m_i/\Sigma m_i$.

В вариантном ряду каждому значению признака (или каждому интервалу) соответствует определенная частность. Следовательно, ее можно рассматривать как функцию значения признака.

Допустим, что в результате опытов получено следующее распределение пор по размерам (т. е. следующий вариантный ряд):

Интервал диаметров, мм	Количество пор в интервале	Частность
0 — 0,5	3	0,018
0,5 — 1,0	32	0,188
1,0 — 1,5	71	0,417
1,5 2,0	34	0,200
2,0 — 2,5	21	0,124
2,5 — 3,0	9	0,053
	Σm = 170	$\Sigma\omega$ = 1,000

Для наглядного изображения вариационного ряда обычно пользуются графиком (рис. 14). На оси абсцисс откладывают значения признака (диаметр пор), а на оси ординат — его частность. Для того, чтобы показать, что частность относится ко всему интервалу, она изображается прямоугольником, основание которого равно ширине интервала, а высота — соответствующей частности. Такое графическое изображение называют гистограммой.

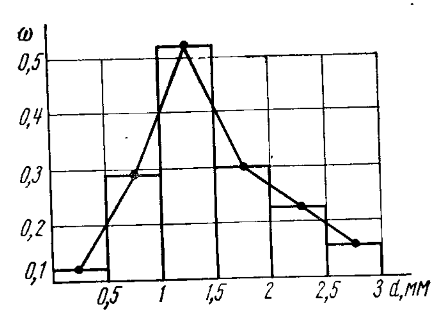


Рис. 14. Гистограмма и полигон распределения пор по диаметрам

Допускается, что все поры, попавшие в один интервал, имеют одинаковое значение признака (одинаковый размер). Соединив точки середин интервалов, получают ломаную линию, называемую полигоном.

Средние значения диаметра пор не могут достаточно полно характеризовать структуру материалов. В самом

деле, если два образца ячеистого бетона имеют одинаковый средний диаметр пор, но размер пор одного из них колеблется в пределах от 0,1 до 1,8 мм, а другого — от 0,08 до 4,5 мм, то очевидно, что пористая структура этих образцов различна.

Для более точной характеристики пористой структуры материала иногда кроме среднего диаметра пор подсчитывают размах варьирования R, равный разнице между наибольшими ($x_{наиб}$) и наименьшими ($x_{наим}$) значениями признака. В приведенном выше примере размах варьирования соответственно равен 1,7 и 4,42 мм.

Но величины размаха варьирования и среднего диаметра пор также недостаточны для полной характеристики пористой структуры того или иного материала. Достаточно полной характеристикой структуры материала являются два показателя: средний диаметр пор и среднее квадратичное отклонение, которое в статистике характеризует разброс значений величины признака (в данном случае диаметра пор).

Среднее квадратичное отклонение, часто называемое стандартным отклонением, обычно обозначают через δ:

$$\delta=\sqrt{\frac{\sum (X-\overline{X})^2}{n}}.$$

Если вариация признака представлена в виде вариантов x_1, x_2, x_3,... с весами m_1, m_2, m_3,..., то стандартное отклонение

$$\delta=\sqrt{\frac{(X-\overline{X})^2 m_i}{\sum m_i}}.$$

Величина стандартного отклонения зависит от неравномерности распределения пор и от их размеров. При увеличении диаметра пор стандартное отклонение возрастает. Как показывает опыт, во многих случаях по величине стандартного отклонения можно судить о качестве ячеистых материалов. Как правило, материал, характеризующийся меньшим стандартным отклонением, имеет более высокие технические свойства.

Часто при сравнении графиков распределения пор по их размерам возникает необходимость определить меру скошенности кривой распределения в ту или иную сторону относительно вертикальной оси симметрии.

Если сравнивают две кривые, у которых интервалы диаметров одинаковые, то такой анализ можно провести непосредственно по графику. Если же при определении размеров пор у нескольких образцов интервалы диаметров пор были приняты разными, то наличие большего количества мелких и крупных пор у сравниваемых образцов непосредственно по графикам определить нельзя, так как их смещение от оси симметрии зависит от выбранного интервала. Поэтому, чтобы не впасть в ошибку при статистической оценке ряда распределения, необходимо вычислить меру асимметрии, т. е. показатель скошенности ряда в ту или иную сторону, называемый в статистике коэффициентом асимметрии. Независимо от границ интервала коэффициент асимметрии будет оценивать форму кривой по непосредственным данным замеров.

В основу подсчета этого коэффициента положено среднекубическое отклонение, которое дает возможность более полно учитывать крайние значения вариантов. При наличии асимметрии одна сторона кривой даст бо́льшее кубическое отклонение, чем другая.

Коэффициент асимметрии определяют по формуле

$$A=\frac{\sum \delta^3}{n\,\delta^3} \quad \text{или} \quad A=\frac{\sum \delta^3 m}{\sum n\,\delta^3},$$

где n — число случаев во всей совокупности; m — частота данного варианта в интервале; $\delta^3=(X-\overline{X})^3$.

Математическая статистика позволяет не только более полно характеризовать отдельные свойства материала, но и устанавливать количественно связь между этими свойствами. Известно, например, что существует связь между средним диаметром пор и средней плотностью ячеистого бетона. При одном и том же способе производства с увеличением средней плотности газо- или пенобетона средний размер пор уменьшается. Сила связи между данными свойствами количественно может быть выражена коэффициентом корреляции (r):

$$r=\frac{\sum (X-\overline{X})(Y-\overline{Y})}{\sqrt{\sum (X-\overline{X})^2 (Y-\overline{Y})^2}}$$

где X и Y — частные значения средней плотности материала и среднего диаметра пор; $\overline{X}$ — среднее значение

среднего диаметра пор для данной средней плотности рассматриваемого материала; $\overline{Y}$ — среднее значение средней плотности данного материала при данном среднем диаметре пор.

Связь между свойствами материала считается сильной, если коэффициент корреляции больше 0,7, средней при $0{,}3 < r < 0{,}7$, слабой, если $r < 0{,}3$. При достаточно сильной связи можно по свойству материала, определение которого менее трудоемко (по величине средней плотности), сделать вывод о примерной количественной величине другого свойства (в данном случае о среднем диаметре пор).

Пример исследования пористой структуры ячеистого бетона. Допустим, что требуется исследовать пористую структуру двух материалов: газобетона, полученного по обычной технологии, и газобетона, изготовленного методом вибровспучивания. Средняя плотность обоих материалов одинаковая и равна 900 кг/м³. Для исследования пористой структуры образцов данных материалов применяют микроскоп МБС-2 с объективом 7 и окуляром 12,5.

а. Определяем общую пористость материалов, для чего, пользуясь методикой, изложенной в § 4 настоящей главы, измеряем плотность и среднюю плотность исследуемых материалов. Полученные значения подставляем в формулу для определения общей пористости и подсчитываем ее величину для обоих видов ячеистого бетона (%)

$$П_0 = \left(1 - \frac{\rho_{ср}}{\rho}\right) 100.$$

б. Исследуем пористую структуру образцов обоих видов газобетона. С этой целью подготавливаем образцы, распиливая их в плоскости, перпендикулярной плоскости формования, шлифуя и продувая поверхность распила сжатым воздухом.

В окуляр микроскопа вставляем стеклышко с сеткой и определяем цену деления сетки с помощью объект-микрометра — специального стеклышка с линейкой, цена делений которой известна. Объект-микрометр устанавливаем на предметный столик микроскопа и добиваемся четкого изображения делений линеечки и сетки. На условном интервале «а», границы которого определяют совпадением делений объект-микрометра и сетки

окуляра, подсчитываем количество делений объект-микрометра m и сетки окуляра n. Цена деления сетки

$$l = \frac{Nm}{n},$$

где N — цена деления объект-микрометра.

После определения цены деления сетки окуляра устанавливаем на предметный столик микроскопа подготовленный образец и хорошо его освещаем. На выбранном участке поверхности образца подсчитываем количество пор в интервалах от 0,1 до 1, от 1 до 2 и т. д. делений сетки окуляра (интервал размеров выбирают в зависимости от цены деления сетки; обычно этот интервал принимают близким к 0,2 мм).

Допустим, что при микроскопическом исследовании образцов из обычного газобетона и газобетона, полученного по вибрационной технологии, были получены следующие результаты:

Способ изготовления газобетона	Интервал, мм												
	0—0,2	0,2—0,4	0,4—0,6	0,6—0,8	0,8—1,0	1,0—1,2	1,2—1,4	1,4—1,6	1,6—1,8	1,8—2,0	2,0—2,2	2,2—2,4	2,4—2,6
	Количество пор в интервале												
Обычный	8	18	32	36	30	21	18	12	8	6	4	4	2
Вибрационный	84	62	30	12	6	4	2	—	—	—	—	—	—

По полученным данным подсчитывают характеристики пористости данных материалов.

а. Средний диаметр пор

$$\overline{X} = \frac{\sum \overline{x}_i m_i}{\sum m_i},$$

где $\overline{x}_i$ — среднее значение интервала, мм; m_i — количество пор в интервале.

Подставив числовые значения в формулу, получим для обычного газобетона

$$\overline{x}_1 = \frac{0{,}1\cdot 8 + 0{,}3\cdot 18 + 0{,}5\cdot 32 + 0{,}7\cdot 36 + 0{,}9\cdot 30 + 1{,}1\cdot 21 + \ldots + 2{,}5\cdot 2}{8 + 18 + 32 + 36 + 30 + 21 + \ldots + 2} =$$

$$= 0{,}92 \text{ мм};$$

для вибрированного газобетона

$$\bar{x}_2 = \frac{0{,}1\cdot 84+0{,}3\cdot 62+0{,}5\cdot 30+0{,}7\cdot 12+0{,}9\cdot 6+1{,}1\cdot 4+1{,}3\cdot 2}{84+62+30+12+6+4+2} = 0{,}28 \text{ мм}.$$

б. Среднее квадратичное отклонение

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x}_i)^2 m_i}{\sum m_i}}.$$

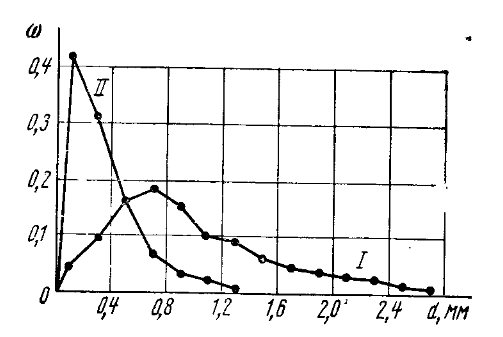


Рис. 15. График распределения пор по диаметрам:

I — для обычного газобетона; II — для вибрированного газобетона

Подставив числовые значения, получим для обычного газобетона

$$\delta_1 = \sqrt{\frac{(0{,}1-0{,}82)^2 8+(0{,}3-0{,}92)^2 18+\ldots+(2{,}5-0{,}92)^2 2}{8+18+32+36+30+21+18+\ldots+4+2}} = 0{,}548;$$

для вибрированного газобетона

$$\delta_2 = \sqrt{\frac{(0{,}1-0{,}28)^2 84+(0{,}3-0{,}28)^2 62+\ldots+(1{,}3-0{,}28)^2 2}{84+62+30+12+6+4+2}} = 0{,}276.$$

в. Частота (частность) пор в каждом интервале

$$\omega_i = \frac{m_i}{\sum m_i}.$$

Подставив числовые значения, определим частоту для первого интервала обоих образцов:

$$\omega_1 = 8/200 = 0{,}04; \quad \omega_2 = 84/200 = 0{,}42.$$

Аналогичным образом подсчитываем частности для всех последующих интервалов размеров пор.

г. Размах варьирования $R = x_{наиб} - x_{наим}$.

Подставив числовые значения, получим:

для обычного газобетона $R_1 = 2{,}5-0{,}1 = 2{,}4$ мм;

для вибрированного газобетона $R_2 = 1{,}3-0{,}1 = 1{,}2$ мм.

Для бо́льшей наглядности строим график распределения пор по диаметрам (рис. 15). На оси абсцисс откладываем значения диаметра пор (средние значения по интервалам), а на оси ординат — подсчитанные частности.

Полученные в результате статистической обработки данные сводим в таблицу по следующей форме:

Способ приготовления газобетона	Характеристика пористости			
	общая пористость, %	средний диаметр пор, мм	размах варьирования, мм	стандартное отклонение
Обычный	61,4	0,92	2,4	0,548
Вибрационный	62,3	0,28	1,2	0,276

По приведенным в таблице данным и по построенному графику, можно сделать следующие выводы:

1) при примерно одинаковой общей пористости средний диаметр пор у газобетона, изготовленного по вибрационной технологии, значительно (более чем в 3 раза) меньше, чем у обычного;

2) величина размаха варьирования и стандартного отклонения свидетельствуют о том, что пористая структура вибрированного газобетона более равномерная;

3) приведенные характеристики пористости позволяют предположить, что основные свойства газобетона, изготовленного по вибрационной технологии (прочность, теплопроводность, водопоглощение, морозостойкость), выше, чем у газобетона, полученного по обычной (литьевой) технологии.

§ 6. Определение прочности

Прочность теплоизоляционных материалов является важным показателем их свойств, обеспечивающим

транспортабельность изделий и их службу в теплоизоляционных конструкциях. Обычно прочность теплоизоляционных материалов невелика и чаще всего колеблется в пределах от 0,3—0,5 МПа до 1—1,5 МПа, некоторые материалы обладают пределом прочности до 5 и лишь отдельные — до 10 МПа и выше.

Прочность теплоизоляционных материалов характеризуется показателями пределов прочности при сжатии $R_{сж}$, при изгибе $R_{изг}$ и при растяжении (разрыве) $R_{раст}$.

Обычно при оценке прочности теплоизоляционных материалов ячеистого строения ограничиваются одним показателем прочности — величиной $R_{сж}$. Прочность жестких изделий волокнистого строения чаще всего выражают величиной $R_{изг}$, а предел прочности при растяжении служит главным образом для характеристики прочности гибких теплоизоляционных изделий, например войлока, матов из минеральной ваты. В ряде случаев прочность материалов характеризуется (независимо от их строения и вида) двумя показателями: $R_{сж}$ и $R_{изг}$. Это относится преимущественно к теплоизоляционно-конструктивным материалам.

Определение предела прочности при сжатии производят следующим образом. Из изделий выпиливают образцы с размером ребра 10 или 7 см (если толщина изделия не позволяет получить такие размеры ребер, то ограничиваются величиной ребра образца в 5 см). Образцы высушивают до постоянной массы при температуре 105 –110° С. Две противоположные грани образцов, соответствующие верхней и нижней поверхностям изделия, выравнивают, шлифуя на абразивном круге. Образцы устанавливают на пресс таким образом, чтобы направление прилагаемой нагрузки было перпендикулярно отшлифованным поверхностям этих образцов. Давление на образец должно возрастать плавно, без толчков и сотрясений со скоростью не более 0,1 МПа в секунду, вплоть до разрушения образца.

Для испытания образцов теплоизоляционных материалов на прочность при сжатии может быть использован любой пресс, позволяющий измерять приложенное давление с точностью до 1%.

Величина предела прочности при сжатии (Па)

$$R_{сж}=H/F,$$

где H — разрушающая сила, Н; F — площадь сечения образца, перпендикулярная направлению разрушающей силы, м^2.

За величину предела прочности при сжатии принимают среднее арифметическое значение не менее чем шести определений.

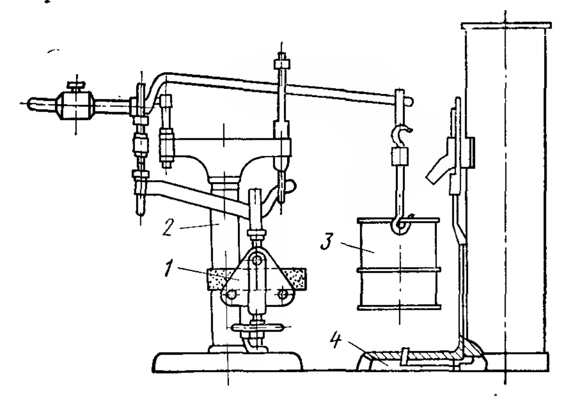


Рис. 16. Рычажный прибор для испытания образцов на изгиб:

1 — специальное приспособление для испытания образцов (балочек) на изгиб; 2 — собственно прибор; 3 — емкость для нагружения; 4 — рычаг, выключающий подачу дроби в емкость 3

Определение предела прочности при изгибе производят путем испытания образцов в виде балочек, выпиленных из изделий, или целых изделий. Для определения предела прочности при изгибе пользуются прибором, изображенным на рис. 16.

Образец размером в плане 250 × 50 и толщиной, равной толщине изделия, из которого он вырезан, укладывают в горизонтальное положение на опоры так, чтобы концы образца выходили за оси опор на 25 мм. Расстояние между осями опор должно составлять 75% от длины образца (оно принимается равным 200 мм). К образцу посередине пролета прикладывают нагрузку, подвешивая на специальной скобе сосуд, в который загружают дробь. Опоры и ось скобы, соприкасающиеся с образцом, должны иметь округлую форму. Их выполняют в виде цилиндров диаметром 10 мм. Нагружение образца производят постепенно со скоростью 1—1,1 Н · с.

При разрушении образца сосуд с дробью падает на

педаль дробницы, прекращая тем самым истечение дроби.

Предел прочности образца при изгибе (Па)

$$R_{изг}=3Pl/2bh^2,$$

где P — вес разрушающего груза (сосуда, скобы и дроби), Н; l — расстояние между осями опор, м; b — ширина образца, м; h — толщина образца, м.

Предел прочности при изгибе для изделий данной партии вычисляют как среднее арифметическое результатов испытаний не менее чем шести образцов (по два образца из каждого изделия) или трех натурных образцов (например, плит).

Если предел прочности при изгибе определяют на натурных крупноразмерных изделиях, то испытание производят следующим образом.

Каждую из трех плит, по которым производилось определение средней плотности (объемной массы), устанавливают на две горизонтальные параллельные опоры, находящиеся на одном уровне. Расстояние между осью опоры и краем плиты должно составлять 50 мм. Плиту нужно опирать на опору по всей ее ширине.

На середину плиты устанавливают платформу с двумя пуансонами (рис. 17) так, чтобы расстояния от осей соответствующих опор были равны. Расстояние между осями пуансонов принимают равным 200 мм. Длина пуансонов должна быть равна ширине плиты. Загружают плиту с помощью пресса или путем постепенного наполнения песком (водой) сосуда, установленного на середине платформы. Загружение ведут до начала потрескивания плиты. Если после двухминутного перерыва плита не сломается, то нагружение продолжают до полного ее разрушения.

Предел прочности при изгибе при такой схеме нагружения (Па)

$$R_{изг}=(3Pa+0{,}75Gl)/bh^2,$$

где P — вес разрушающего груза (с учетом веса платформы и пуансонов), Н; G — вес целой плиты, Н; a — расстояние от оси опоры до оси пуансона, м; l — расстояние между осями опор, м; b — ширина плиты, м; h — толщина плиты, м.

Определение предела прочности при растяжении (разрыве). Для определения предела прочности при растяжении из изделия вдоль волокон вырезают три образца размером 260 × 50 мм каждый. У каждого образца определяют средние значения ширины и толщины, после чего производят испытание на специальном приборе (рис. 18) *.

Прибор состоит из маятника *1*, коромысла *5*, зажимов *6*, ручного привода *7* и измерительного устройства *2*, *3* и *4*.

Образец закрепляют в зажимах прибора так, чтобы расстояние между зажимами в свету равнялось 180 мм. Вращением рукоятки *5* растягивают образец до полного разрыва, в момент которого по шкале *4* с помощью стрелок *2* и *3* фиксируют разрывающее усилие. Величина предела прочности материала при разрыве (Н/м², Па, МПа)

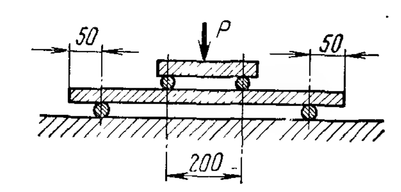


Рис. 17. Схема испытания теплоизоляционных плит на изгиб

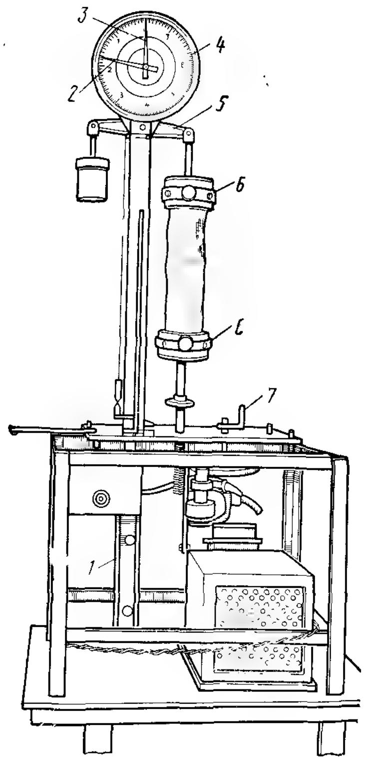


Рис. 18. Прибор для испытания теплоизоляционных волокнистых материалов на разрыв

$$R_{разр}=P/bh,$$

где P — разрывающее усилие, Н; b — ширина образца, м; h — толщина образца, м.

Предел прочности при разрыве (растяжении) для од-

* Прибор К. Э. Горяйнова и В. А. Прибылова.

ного изделия вычисляют как среднюю арифметическую величину по результатам испытания трех образцов, а для данной партии изделий — как среднюю арифметическую величину по результатам испытания всех отобранных для этой цели изделий.

Ультразвуковой импульсный метод определения прочности. Этот метод контроля прочности строительных материалов находит все более широкое применение на заводах строительных материалов и строительных площад-

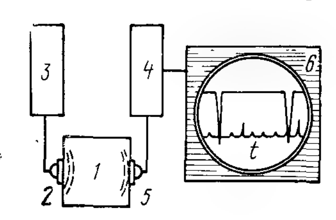


Рис. 19. Блок-схема ультразвуковой установки для контроля качества изделий

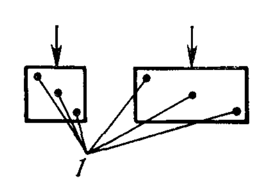


Рис. 20. Схема расположения контрольных точек (*1*) при прозвучивании образцов (стрелками показано направление укладки массы в формы)

ках, так как позволяет сравнительно несложным путем с достаточной точностью производить измерение прочности и однородности структуры строительных материалов в процессе их изготовления и во время службы в строительных конструкциях без разрушения изделий.

Этот метод применим для штучных или монолитных твердых материалов. Сущность его заключается в измерении скорости распространения ультразвуковых импульсов в материале, которая зависит от плотности данного материала и связана определенной зависимостью с его прочностью. При использовании этого метода производят замер скорости прохождения продольных ультразвуковых волн в испытуемом материале.

Для возбуждения в материале волн ультразвуковой частоты и измерения времени их распространения в нем применяют установку, упрощенная блок-схема, которой показана на рис. 19.

Генератор импульсов *3* подает кратковременный сигнал на пьезокристаллический излучатель *2*, в котором этот импульс превращается в ультразвуковые механические волны, поступающие в образец *1*. Пройдя через материал, ультразвуковые волны воздействуют на приемник *5*, в котором механические колебания превращаются в электрические импульсы, усиливаемые затем блоком *4*. В приборе смонтировано специальное устройство, называемое «ждущей задержанной разверткой», которое дает возможность наблюдать на экране осциллографа *6* изображение ультразвуковых импульсов, как поступающих в материал (в левой части экрана), так и прошедших через него (в правой части экрана). Особое электрическое устройство создает на нижней строчке экрана изображение шкалы времени с малыми отметками (в мкм), соответствующими микросекундам, и кратными им большими отрезками через 10 мкм.

Прибор смонтирован в металлическом ящике, на передней панели которого имеются ручки управления и экран индикатор электронной трубки. Излучатель *2* и приемник вделаны в специальные щупы, которые присоединяются к прибору экранированными кабелями длиной до 5 м каждый, что дает возможность производить измерения на базе до 6—7 м.

Чаще всего используют следующие импульсные ультразвуковые приборы: УЗП-64 типов ПИК, ИКЛ, ЛИМ-Б и др.

Испытание прочности материала в изделиях сводится к построению тарировочного графика и определению прочности материала с помощью этого графика по результатам прозвучивания изделия одним из импульсных ультразвуковых приборов, указанных выше.

На скорость распространения ультразвуковых волн в материале влияет ряд факторов, важнейшими из которых являются плотность материала и его влажность. Так, например, результаты многочисленных исследований показывают, что при снижении средней плотности обычного бетона на 2% скорость распространения ультразвуковых волн в нем снижается на 1%, а при изменении средней плотности газобетона с 1100 до 400 кг/м^3 скорость ультразвуковых волн изменяется в пределах от 2,5 до 1,5 км/с.

Увеличение влажности материала приводит к некоторому снижению скорости распространения ультразвуковых волн.

Значительное влияние на скорость распространения ультразвука в изделии или образце оказывают упругопластичные свойства сырьевых материалов, из которых

изготовлены данное изделие или образец, поэтому для каждого материала (например, для газобетона, ячеистого стекла, пенокерамики и т. д.) необходимо строить свою тарировочную кривую.

Тарировочный график «скорость ультразвука — прочность материала» строят следующим образом.

Образцы формуют из той же массы, из которой изготовляют изделия, подлежащие испытанию. Желательно, чтобы технологические параметры изготовления образцов и изделий были одинаковыми. Образцы изготовляют двух видов: кубические с размером ребра 10 см и в виде балочек размером 10×10×30 см. Кубические образцы используют для построения тарировочной кривой, по которой будет определяться прочность изделий при сжатии, а балочки для построения тарировочной кривой, используемой при определении прочности этих же изделий при изгибе.

Для каждого значения средней плотности формуют (или вырезают из изделий) по три образца-близнеца обоих видов. Например, при испытании изделий из газобетона изготовляют образцы со значениями средней плотности 400, 500, 600, 700 кг/м³ и т. д.

Готовые образцы высушивают до заданной влажности и затем прозвучивают.

Прозвучивание производят по трем точкам (рис. 20) в направлении, перпендикулярном направлению укладки формовочной смеси в формы. При испытании между датчиками (щупами) и поверхностью образца должен быть акустический контакт, который достигается путем смазывания торцевой поверхности щупов тонким слоем технического вазелина.

По шкале, изображенной на экране осциллографа, определяют время прохождения ультразвукового импульса через слой материала в микросекундах. Слой материала, расположенный между щупами, равен размеру образца (замеряется перед испытаниями) и соответствует длине распространения ультразвука в материале (в мм).

Скорость распространения ультразвука в материале (км/с)

$$v = S/t,$$

где S — длина распространения ультразвука в материале, мм; t — время прохождения ультразвукового импульса через материал, с.

По трем измерениям выводят среднее арифметическое значение скорости ультразвука для одного образца. Среднее арифметическое значение по испытанию трех образцов принимают за скорость ультразвука в данном материале при данном значении средней плотности.

По окончании ультразвуковых измерений для определения прочности контрольных образцов на сжатие и изгиб производят их испытание на соответствующих прессах по методике, приведенной выше.

По результатам параллельных ультразвуковых и механических испытаний контрольных образцов строят тарировочный график «скорость ультразвука — прочность материала» (рис. 21).

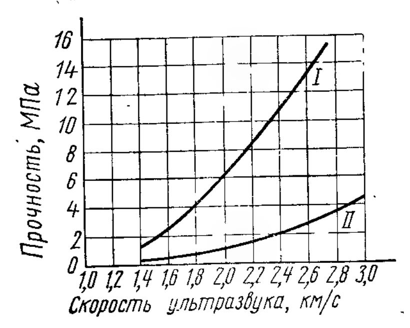


Рис. 21. Тарировочный график «скорость ультразвука — прочность газобетона»:

I — кубиковая прочность при сжатии; *II* — прочность при изгибе

При определении прочности материала в изделии прозвучивание производят тем же прибором, которым испытывались контрольные образцы, и, пользуясь тарировочными кривыми, находят их прочность.

Места прозвучивания изделий определяют в каждом отдельном случае в зависимости от конструктивных особенностей.

§ 7. Определение теплопроводности

Способность материалов и веществ проводить тепло называется теплопроводностью (λ) и выражается количеством тепла, проходящим через стенку площадью 1 м², толщиной 1 м за 1 ч при разности температур на противоположных поверхностях стенки в 1 град. Единица измерения теплопроводности — Вт/(м·К) или Вт/(м·°С).

Теплопроводность материалов определяют

$$\lambda = \frac{Q}{\frac{F \Delta t}{\delta}},$$

где Q — количество тепла (энергии), Вт; F — площадь сечения материала (образца), перпендикулярная направлению теплового потока, м^2; Δt — разность температур на противоположных поверхностях образца, К или °С; δ — толщина образца, м.

Теплопроводность — один из главных показателей свойств теплоизоляционных материалов. Этот показатель зависит от целого ряда факторов: общей пористости материала, размера и формы пор, вида твердой фазы, вида газа, заполняющего поры, температуры и т. п.

Зависимость теплопроводности от этих факторов в наиболее универсальном виде выражают уравнением Лееба:

$$\lambda_p=\lambda_s\left[(1-P_c)+\frac{P_c}{\frac{P_l\lambda_s}{4\delta\varepsilon\nu\, dT_t^3}+(1+P_l)}\right],$$

где λ_p — теплопроводность материала; λ_s — теплопроводность твердой фазы материала; P_c — количество пор, находящихся в сечении, перпендикулярном потоку тепла; P_l — количество пор, находящихся в сечении, параллельном потоку тепла; δ — радиальная постоянная; ε — излучаемость; ν — геометрический фактор, влияющий на излучение внутри пор; T_t — средняя абсолютная температура; d — средний диаметр пор.

Знание теплопроводности того или иного теплоизоляционного материала позволяет правильно оценить его теплоизоляционные качества и рассчитать толщину теплоизоляционной конструкции из этого материала по заданным условиям.

В настоящее время существует ряд методов определения теплопроводности материалов, основанных на измерении стационарного и нестационарного потоков тепла.

Первая группа методов позволяет проводить измерения в широком диапазоне температур (от 20 до 700° С) и получать более точные результаты. Недостатком методов измерения стационарного потока тепла является большая продолжительность опыта, измеряемая часами.

Вторая группа методов позволяет проводить эксперимент в течение нескольких минут (до 1 ч), но зато пригодна для определения теплопроводности материалов лишь при сравнительно низких температурах.

Определение теплопроводности, основанное на измерении стационарного потока тепла. Метод одной пластины.

Измерение теплопроводности строительных материалов этим методом производят, пользуясь прибором, изображенным на рис. 22. При этом с помощью малоинерционного тепломера производят измерение стационарного теплового потока, проходящего через испытуемый образец материала.

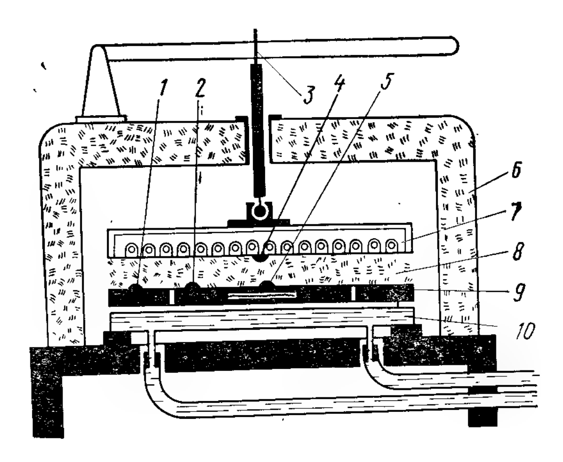


Рис. 22. Однопластинчатый прибор для определения теплопроводности материалов

Прибор состоит из плоского электронагревателя 7 и малоинерционного тепломера 9, установленного на расстоянии 2 мм от поверхности холодильника 10, через который непрерывно протекает вода с постоянной температурой. На поверхностях нагревателя и тепломера заложены термопары 1, 2, 4 и 5. Прибор помещен в металлический кожух 6, заполненный теплоизоляционным материалом. Плотное прилегание образца 8 к тепломеру и нагревателю обеспечивается прижимным приспособлением 3. Нагреватель, тепломер и холодильник имеют форму диска диаметром 250 мм.

Тепловой поток от нагревателя через образец и малоинерционный тепломер передается холодильнику. Величина теплового потока, проходящего через центральную часть образца, измеряется тепломером, представляющим собой термобатарею на паранитовом диске, или тепло-

мером с воспроизводящим элементом, в который вмонтирован плоский электрический нагреватель.

Прибором можно измерять теплопроводность при температуре на горячей поверхности образца от 25 до 700° С.

В комплект прибора входят: терморегулятор типа РО-1, потенциометр типа КП-59, лабораторный автотрансформатор типа РНО-250-2, переключатель термопар МГП, термостат ТС-16, амперметр технический переменного тока до 5 А и термос.

Образцы материала, подвергающиеся испытанию, должны иметь в плане форму круга диаметром 250 мм. Толщина образцов должна быть не более 50 и не менее 10 мм. Толщину образцов измеряют с точностью до 0,1 мм и определяют как среднее арифметическое из результатов четырех измерений. Поверхности образцов должны быть плоскими и параллельными.

При испытании волокнистых, сыпучих, мягких и полужестких теплоизоляционных материалов отобранные образцы помещают в обоймы диаметром 250 мм и высотой 30—40 мм, изготовленные из асбестового картона толщиной 3—4 мм.

Плотность отобранной пробы, находящейся под удельной нагрузкой, должны быть равномерна по всему объему и соответствовать средней плотности испытуемого материала.

Образцы перед испытанием должны быть высушены до постоянной массы при температуре 105—110° С.

Подготовленный к испытаниям образец укладывают на тепломер и прижимают нагревателем. Затем устанавливают терморегулятор нагревателя прибора на заданную температуру и включают нагреватель в сеть. После установления стационарного режима, при котором в течение 30 мин показания тепломера будут постоянными, отмечают показания термопар по шкале потенциометра.

При применении малоинерционного тепломера с воспроизводящим элементом переводят показания тепломера на нуль-гальванометр и включают ток через реостат и миллиамперметр на компенсацию, добиваясь при этом положения стрелки нуль-гальванометра на 0, после чего регистрируют показания по шкале прибора в мА.

При измерении количества тепла малоинерционным тепломером с воспроизводящим элементом расчет теплопроводности материала производят по формуле

$$\lambda = Q\delta/(t_1 - t_2),$$

где δ — толщина образца, м; t_1 — температура горячей поверхности образца, °С; t_2 — температура холодной поверхности образца, °С; Q — количество тепла, проходящее через образец в направлении, перпендикулярном его поверхности, Вт/м².

При этом

$$Q = RI^2/F,$$

где R — постоянное сопротивление нагревателя тепломера, Ом; I — сила тока, А; F — площадь тепломера, м².

При измерении количества тепла (Q) градуированным малоинерционным тепломером расчет производят по формуле $Q = AE$ (Вт/м²), где E — электродвижущая сила (ЭДС), мВ; A — постоянная прибора, указанная в градуировочном свидетельстве на тепломер.

Температуру поверхностей образца измеряют с точностью до 0,1° С (при условии стационарного состояния). Тепловой поток вычисляют с точностью до 1 Вт/м², а теплопроводность — до 0,001 Вт/(м·°С).

При работе на данном приборе необходимо производить его периодическую проверку путем испытания стандартных образцов, которые предоставляют научно-исследовательские институты метрологии и лаборатории Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР.

После проведения опыта и получения данных составляют свидетельство об испытании материала, в котором должны содержаться следующие данные: наименование и адрес лаборатории, проводившей испытания; дата проведения испытания; наименование и характеристика материала; средняя плотность материала в сухом состоянии; средняя температура образца во время испытания; теплопроводность материала при этой температуре.

Метод двух пластин позволяет получать более достоверные результаты, чем рассмотренные выше, так как испытанию подвергают сразу два образца-близнеца и, кроме того, тепловой поток, проходящий через образцы, имеет два направления: через один образец он идет снизу вверх, а через другой — сверху вниз. Это обстоятельство в значительной степени способствует усреднению результатов испытания и приближает условия опыта к реальным условиям службы материала.

Принципиальная схема двухпластинчатого прибора для определения теплопроводности материалов методом стационарного режима показана на рис. 23.

Прибор состоит из центрального нагревателя *1*, охранного нагревателя *2*, охладительных дисков *6*, которые од-

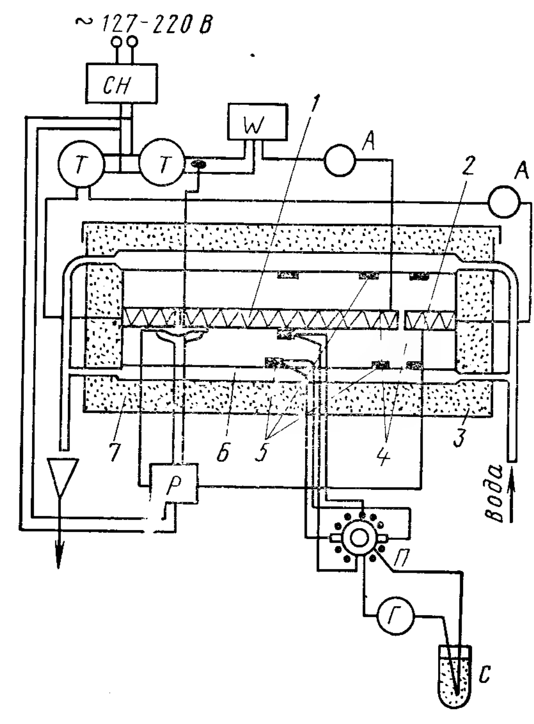


Рис. 23. Схема двухпластинчатого прибора для определения теплопроводности материалов

новременно прижимают образцы материала *4* к нагревателям, изоляционной засыпки *3*, термопар *5* и кожуха *7*.

В комплект прибора входит следующая регулирующая и измерительная аппаратура. Стабилизатор напряжения (*СН*), автотрансформаторы (*Т*), ваттметр (*W*), амперметры (*А*), регулятор температуры охранного нагревателя (*Р*), переключатель термопар (*П*), гальванометр или потенциометр для измерения температуры (*Г*) и сосуд со льдом (*С*).

Для обеспечения одинаковых граничных условий у периметра испытуемых образцов форма нагревателя принята дисковой. Диаметр основного (рабочего) нагревателя для удобства расчета принят равным 112,5 мм, что соответствует площади в 0,01 м².

Испытание материала на теплопроводность производят следующим образом.

Из отобранного для испытания материала изготовляют два образца-близнеца в виде дисков диаметром, равным диаметру охранного кольца (250 мм). Толщина образцов должны быть одинаковой и находиться в пределах от 10 до 50 мм. Поверхности образцов должны быть плоскими и параллельными, без царапин и вмятин.

Испытание волокнистых и сыпучих материалов производят в специальных обоймах из асбестового картона.

Перед испытанием образцы высушивают до постоянной массы и измеряют их толщину с точностью до 0,1 мм.

Образцы укладывают с двух сторон электронагревателя и прижимают их к нему охладительными дисками. Затем устанавливают регулятор напряжения (латр) в положение, при котором обеспечивается заданная температура электронагревателя. Включают циркуляцию воды в охладительных дисках и после достижения установившегося режима, наблюдаемого по гальванометру, измеряют температуру у горячих и холодных поверхностей образцов, для чего пользуются соответствующими термопарами и гальванометром или потенциометром. Одновременно измеряют расход электроэнергии. После этого выключают электронагреватель, а через 2—3 ч прекращают подачу воды в охладительные диски.

Теплопроводность материала, Вт/(м·°C),

$$\lambda = \frac{0{,}5\,W\,\delta}{(t_1 - t_2)F},$$

где W — расход электроэнергии, Вт; δ — толщина образца, м; F — площадь одной поверхности электронагревателя, м²; t_1 — температура у горячей поверхности образца, °C; t_2 — температура у холодной поверхности образца, °C.

Окончательные результаты по определению теплопроводности относят к средней температуре образцов

$$t_{ср} = (t_1 + t_2)/2,$$

где t_1 — температура у горячей поверхности образца (средняя двух образцов), °С; t_2 — температура у холодной поверхности образцов (средняя двух образцов), °С.

Метод трубы. Для определения теплопроводности теплоизоляционных изделий с криволинейной поверхностью (скорлуп, цилиндров, сегментов) применяют установку, принципиальная схема которой показана на

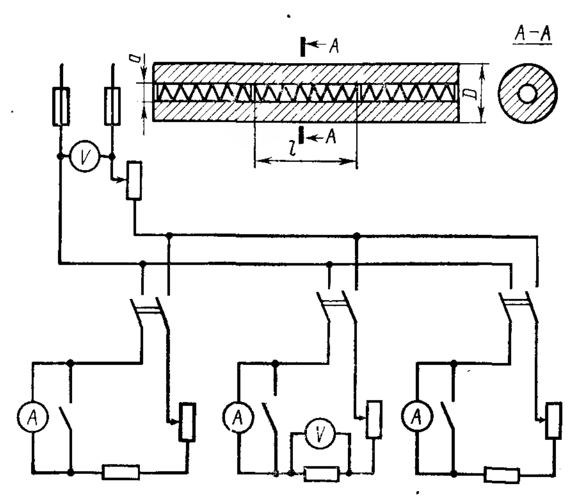


Рис. 24. Схема прибора для определения теплопроводности материалов методом трубы

рис. 24. Эта установка представляет собой стальную трубу диаметром 100—150 мм и длиной не менее 2,5 м. Внутри трубы на огнеупорном материале смонтирован нагревательный элемент, который разделен на три самостоятельные секции по длине трубы: центральную (рабочую), занимающую примерно 1/3 длины трубы, и боковые, служащие для устранения утечки тепла через торцы прибора (трубы).

Трубу устанавливают на подвесках или на подставках на расстоянии 1,5—2 м от пола, стен и потолка помещения.

Температуру трубы и поверхности испытуемого материала измеряют термопарами. При проведении испытания необходимо регулировать мощность электроэнергии, потребляемую охранными секциями, для исключения перепада температуры между рабочей и охранными секциями. Испытания проводят при установившемся тепловом режиме, при котором температура на поверхностях трубы и изоляционного материала постоянна в течение 30 мин.

Расход электроэнергии рабочим нагревателем можно измерять как ваттметром, так и отдельно вольтметром и амперметром.

Теплопроводность материала, Вт/(м·°С),

$$\lambda = \frac{RI^2 \ln \frac{D}{d}}{2\pi l (t_1 - t_2)},$$

где D — наружный диаметр испытуемого изделия, м; d — внутренний диаметр испытуемого материала, м; t_1 — температура на поверхности трубы, °С; t_2 — температура на внешней поверхности испытуемого изделия, °С; l — длина рабочей секции нагревателя, м.

Кроме теплопроводности на данном приборе можно замерять величину теплового потока в теплоизоляционной конструкции, изготовленной из того или иного теплоизоляционного материала. Тепловой поток (Вт/м²)

$$Q = \frac{RI^2}{\pi D l}.$$

Определение теплопроводности, основанное на методах нестационарного потока тепла (методы динамических измерений). Методы, основанные на измерении нестационарных потоков тепла (методы динамических измерений), в последнее время все шире применяются для определения теплофизических величин. Преимуществом этих методов является не только сравнительная быстрота проведения опытов, но и бо́льший объем информации, получаемой за один опыт. Здесь к другим параметрам контролируемого процесса добавляется еще один — время. Благодаря этому только динамические методы позволяют получать по результатам одного опыта теплофизические характеристики материалов такие, как теплопроводность, теплоемкость, температуропроводность, темп охлаждения (нагревания)

В настоящее время существует большое количество методов и приборов для измерения динамических температур и тепловых потоков. Однако все они требуют зна-

ния конкретных условий и введения поправок к полученным результатам, так как процессы измерения тепловых величин отличаются от измерения величин другой природы (механических, оптических, электрических, акустических и др.) своей значительной инерционностью.

Поэтому методы, основанные на измерении стационарных потоков тепла, отличаются от рассматриваемых методов значительно бо́льшей идентичностью между результатами измерений и истинными значениями измеряемых тепловых величин.

Совершенствование динамических методов измерений идет по трем направлениям. Во-первых, это развитие методов анализа погрешностей и введения поправок в результаты измерений. Во-вторых, разработка автоматических корректирующих устройств для компенсации динамических погрешностей.

Рассмотрим два наиболее распространенных в СССР метода, основанных на измерении нестационарного потока тепла.

1. Метод регулярного теплового режима с бикалориметром. При применении этого метода могут быть использованы различные типы конструкции бикалориметров. Рассмотрим один из них — малогабаритный плоский бикалориметр типа МПБ-64-1 (рис. 25), который предназначен

Рис. 25. Плоский малогабаритный бикалориметр МПБ-64-1:
1 — рукоятка; *2* испытуемые образцы: *3* — разъемный корпус; *4* — сердечник с нагревателем и батареей дифференциальных термопар; *5* - крепежный винт

для определения теплопроводности полужестких, волокнистых и сыпучих теплоизоляционных материалов при комнатной температуре.

Прибор МПБ-64-1 представляет собой цилиндрической формы разъемную оболочку (корпус) с внутренним диаметром 105 мм, в центре которой встроен сердечник с вмонтированным в него нагревателем и батареей дифференциальных термопар. Прибор изготовлен из дюралюминия марки Д16Т.

Термобатарея дифференциальных термопар бикалориметра оснащена медно-копелевыми термопарами, диаметр электродов которых равен 0,2 мм. Концы витков термобатарей выведены на латунные лепестки кольца из стеклоткани, пропитанной клеем БФ-2, и далее через провода к вилке. Нагревательный элемент, выполненный из нихромовой проволоки диаметром 0,1 мм, нашит на пропитанную клеем БФ-2 круглую пластинку из стеклоткани. Концы проволоки нагревательного элемента, так же как и концы проволоки термобатареи, выведены на латунные лепестки кольца и далее, через вилку, к источнику питания. Нагревательный элемент может питаться от сети переменного тока напряжением 127 В.

Прибор герметичен благодаря уплотнению из вакуумной резины, заложенной между корпусом и крышками, а также сальниковой набивке (пеньково-суриковой) между ручкой, бобышкой и корпусом.

Термопары, нагреватель и их выводы должны быть хорошо изолированы от корпуса.

Размеры испытуемых образцов не должны превышать в диаметре 104 мм и по толщине — 16 мм. На приборе одновременно производят испытание двух образцов-близнецов.

Работа прибора основана на следующем принципе.

Процесс охлаждения твердого тела, нагретого до температуры $t°$ и помещенного в среду с температурой $\Theta < t°$ при весьма большой теплопередаче (α) от тела к среде ($\alpha \to \infty$) и при постоянной температуре этой среды ($\Theta = \text{const}$), делится на три стадии.

1. Распределение температуры в теле носит сначала случайный характер, т. е. имеет место неупорядоченный тепловой режим.

2. С течением времени охлаждение становится упорядоченным, т. е. наступает регулярный режим, при кото-

ром изменение температуры в каждой точке тела подчиняется экспоненциальному закону:

$$\Theta = AUe^{-m\tau},$$

где Θ — повышенная температура в какой-нибудь точке тела; U — некоторая функция координат точки; e — основание натуральных логарифмов; τ — время от начала охлаждения тела; m — темп охлаждения; A — постоянная прибора, зависящая от начальных условий.

3. После регулярного режима охлаждение характеризуется наступлением теплового равновесия тела с окружающей средой.

Темп охлаждения m после дифференцирования выражения

$$\Theta = AUe^{-m\tau}$$

по τ в координатах $\ln\Theta - \tau$ выражается следующим образом:

$$m = (\ln\Theta_1 - \ln\Theta_2)/(\tau_2 - \tau_1).$$

Расчет величины теплопроводности производят по формуле

$$\lambda = (A + BC)m,$$

где A и B — константы прибора; C — полная теплоемкость испытуемого материала, равная произведению удельной теплоемкости материала на его массу, Дж/(кг·°С); m — темп охлаждения, 1/ч.

Испытание проводят следующим образом. После помещения образцов в прибор крышки прибора плотно прижимают к корпусу с помощью гайки с накаткой. Прибор опускают в термостат с мешалкой, например в термостат ТС-16, заполненный водой комнатной температуры, затем подсоединяют термобатарею дифференциальных термопар к гальванометру. Прибор выдерживают в термостате до выравнивания температур наружной и внутренней поверхностей образцов испытуемого материала, что фиксируется показанием гальванометра. После этого включают нагреватель сердечника. Сердечник нагревают до температуры, превышающей на 30—40° температуру воды в термостате, а затем выключают нагреватель. Когда стрелка гальванометра возвратится в пределы шкалы, производят запись убывающих во времени показаний гальванометра. Всего записывают 8—10 точек.

В системе координат $\ln\Theta - \tau$ строят график, который должен иметь вид прямой линии, пересекающей в некоторых точках оси абсцисс и ординат. Затем рассчитывают тангенс угла наклона полученной прямой, который выражает величину темпа охлаждения материала:

$$m = \frac{\ln\Theta_1 - \ln\Theta_2}{\tau_2 - \tau_1} = \frac{\lg\frac{\Theta_1}{\Theta_2}\cdot 2{,}3}{\tau_2 - \tau_1},$$

где Θ_1 и Θ_2 — соответствующие ординаты для времени τ_1 и τ_2.

Опыт повторяют вновь и еще раз определяют темп охлаждения. Если расхождение в значениях темпа охлаждения, вычисленного при первом и втором опытах, менее 5%, то ограничиваются этими двумя опытами. Среднее значение темпа охлаждения определяют по результатам двух опытов и вычисляют величину теплопроводности материала, Вт/(м·°С)

$$\lambda = (A + BC_{у}P)m.$$

Пример. Испытуемый материал — минераловатный мат на фенольном связующем со средней плотностью в сухом состоянии 80 кг/м³.

1. Вычисляем величину навески материала, помещаемую в прибор,

$$P_{п} = \rho_{ср}V_{п},$$

где $P_{п}$ — навеска материала, помещаемая в одну цилиндрическую емкость прибора, кг; $V_{п}$ — объем одной цилиндрической емкости прибора, равный 140 см³; $\rho_{ср}$ — средняя плотность материала, г/см³.

$$P_{п} = 0{,}08\cdot 140 = 11{,}2\ г = 0{,}0112\ кг;$$

$$P = 2P_{п} = 0{,}0224\ кг.$$

2. Определяем произведение $BC_{у}P$, где B — константа прибора, равная 0,324; C — удельная теплоемкость материала, равная 0,8237 кДж/(кг·К). Тогда $BC_{у}P = 0{,}324\cdot 0{,}8237\cdot 0{,}0224 = 0{,}00598$.

3. Результаты наблюдений за охлаждением образцов в приборе во времени заносим в табл. 2.

Таблица 2

Опыт 1			Опыт 2		
Деления шкалы	τ, мин	τ, доли часа	Деления шкалы	τ′, мин	τ′, доли часа
140,0	0	0,00	140,0	0	0,00
127,0	3	0,05	125,0	3	0,05
114,5	6	0,10	113,0	6	0,10
104,0+	9	0,15	103,0+	9	0,15
93,0	12	0,20	92,0	12	0,20
83,5	15	0,25	82,5	15	0,25
76,0	18	0,30	74,5	18	0,30
69,0+	21	0,35	67,6+	21	0,35

Выбираем в таблице по две точки из данных каждого опыта, отмеченные значком +, и вычисляем темп охлаждения (m_1 и m_2) для каждого опыта:

$$m_1 = \frac{\lg \frac{\Theta_1}{\Theta_2} 2{,}3}{\tau_2 - \tau_1} = \frac{\lg \frac{104{,}0}{69{,}0} 2{,}3}{0{,}2} = 0{,}178 \cdot 11{,}5 = 2{,}041 \ \ 1/\text{ч};$$

$$m_2 = \frac{\lg \frac{\Theta_1'}{\Theta_2'} 2{,}3}{\tau_2' - \tau_1'} = \frac{\lg \frac{103{,}0}{67{,}5} 2{,}3}{0{,}2} = 0{,}183 \cdot 11{,}5 = 2{,}104 \ \ 1/\text{ч}.$$

Расхождения в значениях темпа охлаждения m_1 и m_2 менее 5%, поэтому повторные опыты можно не производить.

4. Вычисляем средний темп охлаждения

$$m = (2{,}41 + 2{,}104)/2 = 2{,}072.$$

Зная все необходимые величины, подсчитываем теплопроводность

$$\lambda = (0{,}0169 + 0{,}00598)\, 2{,}072 = 0{,}047 \ \ \text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

$$\text{или Вт/(м} \cdot {}^\circ\text{C)}.$$

При этом средняя температура образцов составляла 303 К или 30° С. В формуле 0,0169 — A (константа прибора).

2. Зондовый метод. Существует несколько разновидностей зондового метода определения теплопроводности теплоизоляционных материалов, отличающихся друг от друга применяющимися приборами и принципами нагрева зонда. Рассмотрим один из этих методов — метод цилиндрического зонда без электронагревателя.

Этот метод заключается в следующем. Металлический стержень диаметром 5—6 мм (рис. 26) и длиной около 100 мм вводят в толщу горячего теплоизоляционного материала и с помощью вмонтированной внутри стержня

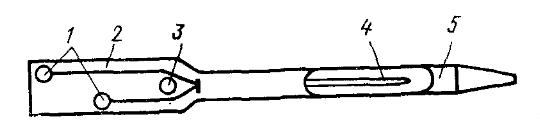


Рис. 26. Схема цилиндрического зонда без электронагревателя:

1 — контакты для термопары; *2* — изолятор; *3* — фарфоровый вкладыш; *4* — термопара; *5* — металлический стержень

термопары определяют температуру. Определение температуры производят в два приема: в начале опыта (в момент нагревания зонда) и в конце, когда наступает равновесное состояние и повышение температуры зонда прекращается. Время между этими двумя отсчетами замеряют с помощью секундомера.

Теплопроводность материала, Вт/(м·°С),

$$\lambda = \frac{R^2 C V}{4\tau\left(1 - \frac{t_1}{t_2}\right)},$$

где R — радиус стержня, м; C — удельная теплоемкость материала, из которого изготовлен стержень, кДж/(кг×К); V — объем стержня, м³; τ — промежуток времени между отсчетами температуры, ч; t_1 и t_2 — значения температур в момент первого и второго отсчетов, К или °С.

Этот способ очень прост и позволяет быстро определить теплопроводность материала как в лабораторных, так и в производственных условиях. Однако он пригоден лишь для грубой оценки этого показателя.

§ 8. Контроль качества теплоизоляционных конструкций

Теплозащитные качества теплоизоляционных материалов и конструкций играют очень важную роль в созда-

нии необходимых тепловых режимов в зданиях и различного рода тепловых аппаратах, в экономии тепла и холода. Рациональное использование теплоизоляционных материалов оказывает значительное влияние на экономию топлива и основных строительных материалов.

Особенно большой эффект от применения высокоэффективных теплоизоляционных материалов имеет место при изолировании ими различного рода теплопроводов, котельных установок, промышленных печей. Еще более эффективным является применение теплоизоляционных материалов в целях экономии холода, при изоляции холодильников и холодильных установок, так как получение единицы холода сопряжено со значительно большими затратами энергии, чем единицы тепла.

Когда мы говорим о теплоизоляционных конструкциях, то правильное представление об изоляции дает не теплопроводность материала, из которого выполнена та или иная теплоизоляционная конструкция, а знание теплопроводности всей конструкции в целом.

Например, изолируя трубопровод, по которому подается тепло, мы увеличиваем термическое сопротивление конструкции и, следовательно, снижаем тепловые потери. Однако при этом мы увеличиваем и диаметр конструкции, т. е. ее поверхность, через которую тепло передается окружающей среде. В этом случае важно выбрать эффективный теплоизоляционный материал, который при как можно меньшей толщине изоляционного слоя обеспечивал бы получение на внешней поверхности изоляции допускаемую соответствующими нормами температуру.

Приближенно теплопроводность конструкции в целом можно определить расчетным путем, но более точное значение этого важного параметра получают путем проведения опытных натурных замеров. Для оценки качества теплоизоляционных конструкций кроме теплопроводности необходимо знать максимальную температуру на внешней поверхности изоляции, а также величину удельных тепловых потерь. Для этой цели применяют целый ряд приборов и методов.

Определение температуры на поверхности теплоизоляционной конструкции. Для измерения температуры на поверхности теплоизоляционных конструкций используют специальные приборы — термощупы.

В настоящее время существует три типа термощупов: термопарный, омический и полупроводниковый. В комплект всех этих приборов входят чувствительные элементы (датчики), являющиеся собственно термощупами, и вторичные измерительные приборы, в качестве которых обычно используют потенциометр или мост постоянного тока.

Датчик *термопарного* термощупа состоит из тонкой полотняной ленты размером 1×5 см, на которой закреплены горячие спаи термопар, держателя этой ленты и сосуда со льдом, в который помещают холодные спаи термопар.

В качестве вторичного прибора для термощупа этого типа используют переносной потенциометр ПП.

Датчик *омического* термощупа состоит из такой же полотняной ленты, на которой вместо термопар закреплен термометр сопротивления, выполненный из медной проволоки диаметром около 0,05 мм. В качестве вторичного прибора обычно используется мост постоянного тока со шкалой, проградуированной в °С.

Известны омические датчики, смонтированные на длинной ленте (300 мм и более), которые позволяют сразу после одного замера определять усредненную температуру (по всей длине ленты) в данном месте конструкции. Такие датчики менее удобны в работе из-за сложности их установки.

Устройство *полупроводникового* термощупа ничем не отличается от омического, за исключением чувственного элемента. В данном случае вместо медного термометра сопротивления к ленте датчика прикрепляется так называемый термистор, представляющий собой полупроводник величиной примерно с зерно пшеницы. Лента, на которой закреплен термистор, выполняется из латуни для обеспечения подвода тепла к чувствительному элементу.

В настоящее время все три типа приборов находят широкое применение при измерении температуры теплоизоляционных конструкций с плоской и криволинейной поверхностями.

Все эти приборы просты и удобны в эксплуатации и позволяют измерять температуру с точностью до 1°С.

Следует отметить, что при работе с термопарным термощупом необходимо иметь сосуд со льдом. Это создает определенные неудобства при работе с ним. Полупроводниковый же термощуп с течением времени теряет способ-

ность давать стабильные показания, так как полупроводники типа термисторов не имеют пока стабильной во времени характеристики.

На рис. 27 показан омический термощуп конструкции ОРГРЭС типа Т-4 с плоским термометром сопротивления. Этот прибор предназначен для измерения температуры плоских и выпуклых (цилиндрических) поверхностей в пределах от 0 до 100° С.

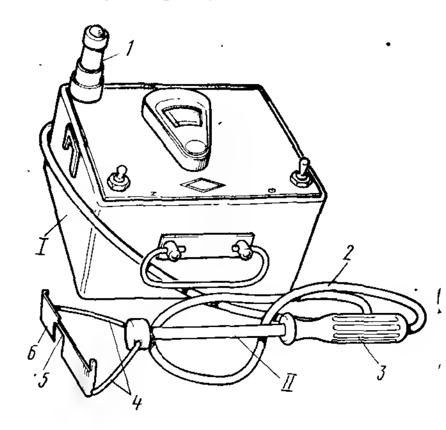


Рис. 27. Общий вид термощупа ОРГРЭС типа Т-4

Термощуп Т-4 состоит из измерительного жезла *II* и вторичного прибора *I*.

Жезл оканчивается пружинящей дугой *4*, на которой натянута матерчатая лента *6*. Посередине ленты наклеен чувствительный элемент *5* в виде плоского бескаркасного медного термометра сопротивления, который представляет собой плоскую намотку из медной проволоки диаметром 0,05—0,1 мм. Начальное сопротивление проволоки при 0° С равно 53 Ом. Жезл имеет рукоятку *3*, с помощью которой термометр сопротивления плотно прижимается к поверхности проверяемой теплоизоляции. Выводы от термометра пропущены внутри жезла, через его рукоятку, и с помощью гибкого шнура *2* со штекером *1* присоединены к вторичному прибору.

Схема вторичного прибора показана на рис. 28. Вторичный прибор представляет собой уравновешенный мост с двумя пределами измерения: 0—50° С и 50—100° С. Переход от одного предела к другому осуществляется отключением сопротивления $R_ш$, шунтирующего плечо моста R_1. Индикатором равновесия моста служит нуль-гальванометр *4*, вмонтированный в корпус вторичного прибора. В задней стенке корпуса имеется углубление с прорезью, через которую выступает часть диска с накаткой. С помощью этого диска можно перемещать движок реохорда *3* и жестко связанную с движком вращающуюся шкалу *2*, общая длина которой составляет 365 мм.

На панели прибора помимо нуль-гальванометра и окна для отсчета делений вращающейся шкалы установлены выключатель питания *6*, переключатель пределов измерения *1* и штеккерный разъем *7* для присоединения чувствительного элемента (жезла) *8*. На боковой стенке корпуса имеется крышка, закрывающая карман для сухого элемента *5*, питающего измерительный мост.

Во избежание повреждения нуль-гальванометра из-за включения питания моста при отсоединенном измерительном жезле в схеме предусмотрена блокировка. При разъединении штеккерного разъема одновременно разрывается цепь питания моста.

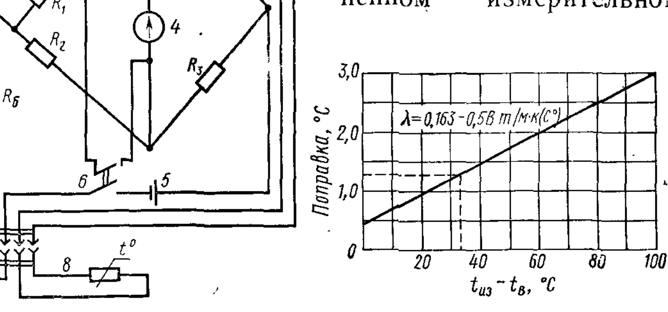


Рис. 28. Схема вторичного прибора термощупа Т-4

Рис. 29. Усредненный график для определения поправки при измерении температуры на изолированных поверхностях

Основная погрешность измерения этого прибора составляет ±0,5° С.

При измерении термощупом температуры теплопроводных поверхностей (металлических) прибор дает показания истинного значения измеряемого параметра. При измерении температуры малотеплопроводных (неметаллических) поверхностей наложение термометра сопротивления вызывает в месте измерения искажение температурного поля, вследствие чего термощуп дает заниженные значения измеряемой температуры. В этом случае

для получения истинного значения температуры поверхности в показания термощупа необходимо ввести поправку.

Искажение температуры зависит от разности температур поверхности изоляции и окружающего ее воздуха, а также от теплопроводности материала, из которого выполнена тепловая изоляция.

Поправку определяют обычно по усредненному графику (рис. 29), построенному на основании экспериментальных данных для теплоизоляционных конструкций, имеющих значение теплопроводности при 50° от 0,23 до 0,46 Вт/(м · К). Этот график может быть использован и при большем интервале значений теплопроводности (от 0,116 до 1,16 Вт/(м · К). В этом случае погрешность при измерении температуры данным прибором возрастает до ±3—5° С.

Для измерения температуры поверхности теплоизоляционной конструкции термощупом Т-4 необходимо проделать следующее.

1. Снять с прибора крышку. 2. С помощью корректора установить стрелку нуль-гальванометра на нулевое деление шкалы. 3. Соединить измерительный жезл с вторичным прибором. 4. Исходя из предполагаемого значения измеряемой температуры, установить переключатель пределов измерения в соответствующее положение. 5. Плотно прижать чувствительный элемент жезла (термометр сопротивления) к поверхности изоляции, температура которой измеряется. 6. Через 1—2 мин установить выключатель питания моста в положение «включено». 7. Вращением диска движка реохорда установить нуль-гальванометр на нулевое деление, после чего по шкале против указателя, нанесенного на стекле окна шкалы, отсчитать показание прибора.

Если измерение температуры производится на пределе измерения 50—100° С, то к отсчитанному по шкале показанию надо прибавить 50° С. 8. После окончания измерения отключить питание моста. 9. При измерении температуры изолированной (неметаллической) поверхности необходимо одновременно измерить температуру окружающего воздуха и, пользуясь усредненным графиком (рис. 29), ввести (прибавить) поправку к полученному показанию прибора.

Среднюю температуру поверхности данной теплоизоляционной конструкции вычисляют как среднюю арифметическую величину по результатам не менее чем 5 измерений.

Определение удельных тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции. Наиболее полное представление о качестве теплоизоляционных конструкций дают величины удельных тепловых потерь с поверхности тепловой изоляции, для измерения которых применяют один из двух методов: косвенный, основанный на измерении разности температур между поверхностью изоляции и окружающим воздухом; метод непосредственного измерения теплового потока с помощью специальных приборов — тепломеров.

В основу косвенного метода измерения тепловых потерь положен закон Ньютона, в котором говорится о том, что теплоотдача с поверхности какого-либо тела прямо пропорциональна разности температур нагретого тела и окружающей среды.

Сущность косвенного метода сводится к тому, чтобы измерить температуру поверхности тепловой изоляции и окружающего воздуха, т. е. определить среднюю разность температур изоляции и окружающей среды.

Среднюю температуру изоляции определяют измерением ее в четырех выбранных точках с помощью термощупов и вычислением как средней арифметической величины по результатам этих измерений.

Температуру окружающего воздуха измеряют на расстоянии 1—1,5 м от поверхности испытуемой теплоизоляционной конструкции.

После проведения необходимых измерений удельный тепловой поток (Вт/м^2) вычисляют по следующим формулам: $q = \alpha (t_п - t_в)$ — для плоских поверхностей; $q = \alpha \pi d_п (t_п - t_в)$ — для цилиндрических поверхностей, где $t_п$ — средняя температура поверхности изоляции, °С; $t_в$ — температура окружающего воздуха, °С; $d_н$ — наружный диаметр теплоизоляционного слоя, м; α — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^2 · °С), определяют по табличным данным или по формуле

$$\alpha = 1{,}43 (t_п - t_в)^{1/3} + 4{,}2 \frac{\left(\frac{t_п + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_в + 273}{100}\right)^4}{t_п - t_в}.$$

Пример. Определить тепловые потери с 1 м трубопровода в котельной, если известно, что диаметр трубопро-

вода 318 мм, толщина слоя тепловой изоляции 100 мм; температура воздуха в котельной 20° С, а средняя температура поверхности изоляционного слоя составляет 47° С.

1. Определяем коэффициент теплоотдачи

$$\alpha = 1{,}43(47-20)^{1/3} + 4{,}2\frac{\left(\frac{47+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{20+273}{100}\right)^4}{47-20} = $$

$$= 7{,}42 \text{Вт/(м}^2\cdot{}^\circ\text{С)}.$$

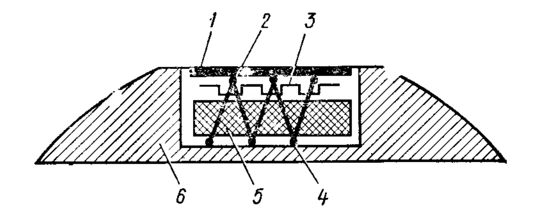


Рис. 30. Схема датчика тепломера ИТП-2

2. Вычисляем удельные тепловые потери с поверхности изоляции трубопровода

$$q = \alpha\pi d_{\text{н}}(t_{\text{п}} - t_{\text{в}}) = 7{,}42\cdot3{,}14\cdot0{,}518\cdot27 = 326 \text{ Вч/(м}\cdot{}^\circ\text{С)}.$$

Непосредственное измерение теплового потока (тепловых потерь) лучше всего производить с помощью малоинерционных тепломеров конструкции ОРГРЭС или ВНИИПИТеплопроекта.

Малоинерционный тепломер конструкции ОРГРЭС типа ИТП-2 служит для измерения плотности тепловых потоков от тепловой изоляции, неизолированных горячих поверхностей и других нагретых тел. Его принцип действия основан на создании в нагревательном элементе плотности теплового потока, равной по величине плотности теплового потока, идущего от испытываемой поверхности, т. е. на методе компенсации теплового потока.

Равенство плотностей тепловых потоков нагревательного элемента и испытываемой поверхности обеспечивается уравниванием их температур при прочих равных условиях теплоотдачи.

Тепломер ИТП-2 состоит из датчика и вторичного прибора.

Датчик тепломера (рис. 30) состоит из высокотемпературопроводного (алюминиевого) корпуса *6*, в котором на теплоизолирующей прокладке *5* размещены нагреватель *3*, выполненный из манганиновой проволоки, и батарея дифференциальных термопар, спаи которой *2* и *4* расположены по обе стороны теплоизолирующей прокладки.

Нагреватель *3* и спаи дифференциальной термопары *2* закрыты теплопроводной медной пластинкой *1*, являющейся собственно нагревателем тепломера. Спаи дифференциальной термопары *4* расположены под термоизолирующей прокладкой, на корпусе датчика. Таким образом, батарея дифференциальных термопар показывает наличие или отсутствие разности температур между корпусом датчика и нагревательным элементом.

В комплект тепломера входят два датчика. Датчик в виде диска со скошенными краями применяется при измерении плотности теплового потока от плоских поверхностей. Он с помощью пружинящего приспособления («вилки») соединен с рукояткой держателя и через штеккерный разъем присоединен к вторичному прибору. Датчик в виде диска с некоторым радиусом кривизны на нижней плоскости применяют при измерении плотности теплового потока от цилиндрических и других выпуклых поверхностей. Резиновая пластина, в которую вставлен датчик, имеет по краям специальные приспособления («ушки»), служащие для закрепления датчика на объекте исследования. Датчик через штеккерный разъем присоединяют к вторичному прибору, схема которого показана на рис. 31.

Для питания нагревателя датчика *2* установлен источник постоянного тока *4*, представляющий собой три батареи типа «Сатурн». Для измерения силы тока, проходящего через нагреватель, в цепь последовательно включен миллиамперметр *8*. Регулировка силы тока осуществляется реостатами *5*. Батарея дифференциальных термопар подключена непосредственно к нуль-гальванометру *10*. Датчик соединяется с вторичным прибором штеккерным разъемом *1*.

Исходя из выбранных пределов измерений (0—116 или 0—580 Вт/(м²·°С) площади нагреваемого элемента (6 см²) и сопротивления (25 Ом), устанавливают пределы измерения миллиамперметра, которые соответственно равны 52,9 и 118,2 мА. Для обеспечения этих пределов с учетом характеристики миллиамперметра подобраны

дополнительные сопротивления *6* и шунтовое сопротивление *3*.

Для подачи питания и закорачивания рамки нуль-гальванометра установлен переключатель *9*, а для изменения пределов измерения — переключатель *7*.

Измерение плотности теплового потока с помощью тепломера ИТП-2 производят следующим образом.

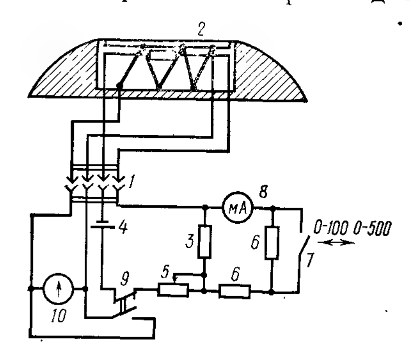


Рис. 31. Схема вторичного прибора тепломера ИТП-2

Датчик тепломера с помощью штеккерного разъема подключают к вторичному прибору. При положении переключателя *9* «выключено» проверяют положение стрелки нуль-гальванометра и в случае необходимости устанавливают ее на 0. Переключатель *7* устанавливают на предел измерения, соответствующий ожидаемому тепловому потоку.

На плоских поверхностях или поверхностях с большим (более 2 м) радиусом кривизны измерения производят плоским датчиком, который с помощью держателя прижимают нижней плоской частью к исследуемой поверхности. После установки датчика переключатель *8* переводят в положение «включено».

На поверхностях с малым радиусом кривизны измерения производят с помощью датчика с резиновой пластинкой. Для этого датчик накладывают на поверхность изоляции так, чтобы кривизна нижней части датчика совпадала с кривизной поверхности изоляции. Затем резиновую пластинку с помощью ушек плотно крепят (привязывают) к исследуемому объекту.

При накладывании датчика на нагретую поверхность высокотемпературопроводный корпус датчика быстро нагревается до температуры, которую имеет поверхность изоляции. Вследствие разницы температур между корпусом датчика и нагревательным элементом на выходе батареи дифференциальных термопар появляется ЭДС.

Постепенно реостатами «грубо» и «точно» повышают силу тока в нагревателе датчика. При повышении температуры нагревателя, а следовательно, и спаев батареи

дифференциальных термопар, находящихся под нагревательным элементом, стрелка нуль-гальванометра начинает приближаться к нулевому значению. При переходе стрелки через 0 ток в нагревателе уменьшается до тех пор, пока стрелка нуль-гальванометра не займет устойчивого нулевого положения.

При наложении датчика на горячую поверхность до включения подачи тока на нагреватель стрелка нуль-гальванометра будет находиться в левом положении. При подаче заведомо повышенного тока на нагреватель (стрелка миллиамперметра находится в крайнем правом положении) стрелка нуль-гальванометра начинает быстро приближаться к нулю.

Для быстрого достижения устойчивого нулевого положения стрелки нуль-гальванометра уменьшение силы тока следует начинать за 2—3 деления до подхода ее к нулю. Практически цикл установки стрелки на 0 повторяется несколько раз при постепенном уменьшении диапазона регулировки.

При устойчивом (не менее 1 мин) нулевом положении стрелки нуль-гальванометра отсчитывают значение плотности теплового потока по миллиамперметру, градуировка которого может быть в ккал/(м²·ч) или в Вт/м².

Время, необходимое для проведения одного измерения, определяемое инерционностью корпуса датчика и стабильностью внешних условий, при применении плоского датчика составляет 3—8 мин, а при использовании датчика с резиновой пластинкой вследствие сравнительно небольшой теплопроводности резины 20—30 мин. В последнем случае измерение следует начинать через 15—20 мин после установки датчика на исследуемый объект.

В процессе эксплуатации тепломер должен подвергаться обязательной периодической проверке в сроки, определяемые условиями эксплуатациями, но не реже одного раза в два года.

Тепломер должен храниться в закрытом помещении при температуре 5—35° С и относительной влажности воздуха не выше 80%.

В воздухе помещения, где хранится тепломер, не должно быть вредных примесей, вызывающих коррозию.

Поверхность нагревательных элементов датчиков не должна подвергаться никаким механическим воздействиям: давлению, трению, ударам.

§ 9. Определение термических свойств теплоизоляционных материалов

Теплоизоляционные материалы, применяющиеся при высоких температурах (600° С и выше), должны обладать целым рядом специфических свойств. Они должны, не расплавляясь, выдерживать действие высоких температур, при повторном нагревании не давать большой дополнительной усадки, быть термически стойкими (неоднократно выдерживать переменное нагревание и охлаждение), в нагретом состоянии выдерживать некоторое заданное давление, не деформируясь.

Таким требованиям отвечают керамические теплоизоляционные материалы (легковесные огнеупоры, перлитокерамические и высокопористые диатомитовые изделия и др.). При контроле качества таких материалов обычно определяют их огнеупорность, величину деформации под давлением в нагретом состоянии, дополнительную усадку, термическую стойкость.

Огнеупорностью называют способность материала противостоять, не расплавляясь, действию высоких температур.

Показателем огнеупорности (ГОСТ 4069—69) является температура, при которой образец испытываемого материала в форме усеченной пирамиды под влиянием собственного веса деформируется таким образом, что его вершина опускается до плоскости подставки, на которой этот образец установлен. Эта температура называется температурой падения конуса и выражается в °С.

Огнеупорность изделий определяют следующим образом. От изделия откалывают отдельные куски, измельчают их, растирают в ступке и затем просеивают через сито с отверстиями 0,2 мм. Из полученного порошка приготавливают пластичное тесто, затворяя его 10%-ным водным раствором декстрина. В специальной разъемной форме формуют образцы в виде трехгранных усеченных пирамидок размером $h=30$ мм, $a=8$ мм и $b=2$ мм. Форму предварительно смазывают тонким слоем вазелина, затем в нее набивают приготовленную массу, уплотняют ее, срезают излишек, а поверхность среза заглаживают. Отформованный образец вынимают из формы, сушат сначала на воздухе, а затем в сушильном шкафу при температуре 105—110° С.

Высушенный образец устанавливают на специальную подставку, выполненную из высокоогнеупорной керамики. Обычно такие подставки изготовляют из массы, состоящей из 70% корунда и 30% огнеупорной пластичной глины. Подставка имеет форму диска с бортиками высотой 3—5 мм.

Рядом с образцом, на расстоянии в несколько миллиметров, устанавливают два контрольных конуса (пироскопа), огнеупорность которых известна. Причем огнеупорность одного из контрольных образцов (пироскопов) должна быть несколько выше предполагаемой огнеупорности испытуемого материала, а второго — несколько ниже. Все три пирамидки должны быть установлены на одинаковом расстоянии от центра подставки. После установки образцов их закрепляют путем насыпания ровным слоем вровень с бортиками подставки чистого кварцевого песка.

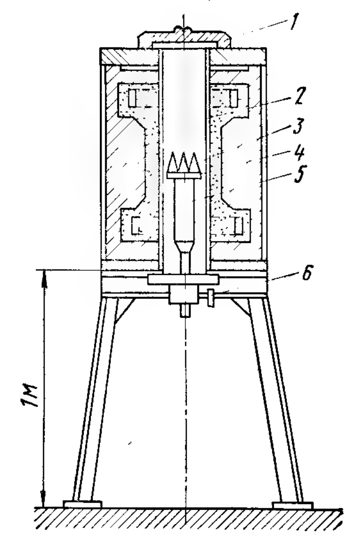


Рис. 32. Схема трубчатой криптоловой печи для определения огнеупорности материалов

Нагревание образцов производят в лабораторных печах различной конструкции. Наиболее широко для этой цели применяют трубчатые криптоловые печи, которые просты и удобны и в которых сравнительно легко и быстро можно получить необходимую для испытания температуру (вплоть до 1800° С). Схема такой печи показана на рис. 32.

Подставку *4* с установленными на ней пироскопами *3* помещают на корундовый стержень *5* и медленно, перемещая вверх штатив, вводят в центральную часть трубы *2*, в зону наивысшей температуры. Штатив закрепляют винтом *6*, закрывают крышку *1* и включают ток.

При проведении опыта необходимо следить за тем, чтобы скорость подъема температуры в печи не превышала 10° С в минуту, а при температуре, близкой к предполагаемой температуре падения конуса,— 5° С в минуту.

Контроль температуры до 900° С осуществляют с помощью хромель-алюмелевой термопары, а при более высоких температурах пользуются оптическим пирометром, используя специальное отверстие в печи.

Обжиг заканчивают, когда пирамидка из испытываемого материала своей вершиной коснется основания подставки. Обожженные образцы оставляют в рабочем пространстве печи до полного охлаждения. Затем их вынимают вместе с подставкой и осматривают, обращая внимание на характер деформации.

Если, например, два контрольных пироскопа имели огнеупорность 1730 и 1750° С, т. е. их номера были соответственно ПК-173 и ПК-175, и если первый пироскоп упал, а второй нет, то огнеупорность испытываемого материала следует обозначить так: ПК-173 и ПК-175, т. е. 1730—1750° С.

Если отмечено неправильное падение испытуемого образца или контрольного пироскопа (на стенку печи или друг на друга), то испытание следует повторить. Причем вторичное использование не упавших при обжиге пироскопов и испытуемых образцов не допускается. В случае прекращения по каким-либо причинам испытания после достижения температуры 1300° С возобновлять испытание с этими же образцами не рекомендуется. Необходимо заменить образец и пироскопы и только после этого продолжить опыт.

При определении огнеупорности в криптоловых печах необходимо внимательно следить за равномерным распределением температуры по сечению печи в зоне нагрева. Перед опытом рекомендуется производить пробный пуск печи и проверять равномерность ее нагревания. При обнаружении местного перегрева необходимо печь выключить, тщательно проверить ее монтаж и распределение криптола, который играет роль проводника электрического тока и обладает большим сопротивлением.

Криптол — это крошка угольных электродов с величиной зерен от 1 до 5 мм. Иногда в качестве криптола используют такой же величины крошку металлургического или нефтяного кокса, древесного угля или других углеродистых веществ. Печь нагревается за счет тепла, выделяющегося при прохождении электрического тока через слой криптола.

Электрическое сопротивление криптолового слоя может быть различным, оно зависит от качества криптола,

от величины зерен и степени его уплотнения. Чем мельче частицы криптола и чем меньше степень их уплотнения, тем выше электрическое сопротивление криптолового слоя, тем более высокая температура развивается в данном месте печи. В связи с этим рекомендуется внимательно следить за равномерностью уплотнения криптола в печи и за однородностью его зернового состава.

Результаты проведенных испытаний рекомендуется записывать по следующей форме:

Название материала	Тип печи	Контрольные пироскопы		Время от начала обжига		Температура		Примечание
		1	2	ч	мин	в процессе испытания	в момент падения конуса	

Образец № ... ПК ... (...°С). В примечании дается описание характера и последовательности падения опытных конусов.

Определение деформации под давлением при высоких температурах. Деформация материала под давлением при высоких температурах определяет его способность противостоять одновременному воздействию высоких температур и сжимающих усилий и является одним из важнейших показателей его термомеханических свойств.

Так как величина давления при испытаниях более или менее соответствует условиям службы материалов в конструкциях, то определение этого показателя характеризует температурные пределы их строительной прочности.

Многочисленные методы, с помощью которых определяют поведение огнеупорных материалов при одновременном воздействии на них давления (сжимающего усилия) и высокой температуры, можно разделить на три основные группы.

1. Определение предела прочности матералов при сжатии, нагретых до различной температуры, производимое обычно с помощью гидравлического пресса в процессе нагревания образцов.

2. Определение величины деформации, наступившей в испытуемом материале под действием известного давления при заданной конечной температуре.

3. Определение изменения величины деформации при постоянном давлении и постоянно повышающейся температуре. Эти определения обычно заканчиваются после достижения заранее указанной конечной величины деформации.

Методы первой группы получили ограниченное применение, так как они неправильно отражают условия службы материалов в конструкциях. Высокотемпературные и огнеупорные теплоизоляционные материалы никогда в условиях реальной службы не подвергаются таким высоким давлениям, какие они выдерживают при данных испытаниях.

Методы второй группы применяют главным образом в США. Испытания проводят, как правило, на целых изделиях, нагревая их до заданной температуры и измеряя возникающие при этом деформативные изменения.

Методы третьей группы широко распространены в СССР и в ряде европейских стран. Преимущество этих методов заключается в том, что материал характеризуется сразу в широком интервале температур, что позволяет дать ему наиболее полную оценку и определить область его применения.

По действующему в СССР ГОСТ 4070—48 деформацию материалов под давлением при высоких температурах определяют на цилиндрических образцах, имеющих диаметр 36 мм и высоту 50 мм. Величина давления для высокотемпературных и огнеупорных теплоизоляционных материалов применяется в соответствии с их средней плотностью. Например, если средняя плотность испытуемого материала равна 400 кг/см^3, то давление при его испытании дается равным 0,04 МПа.

Для определения деформации материалов под давлением при высоких температурах в СССР применяют прибор конструкции проф. Э. К. Келера, а также прибор с непосредственной передачей нагрузки на образец.

Прибор конструкции Э. К. Келера (рис. 33) состоит из электрической криптоловой печи, нагрузочной системы и отсчетного устройства.

Электрическая криптоловая печь *1* имеет жаровую трубу диаметром 100 мм. Контроль за температурой

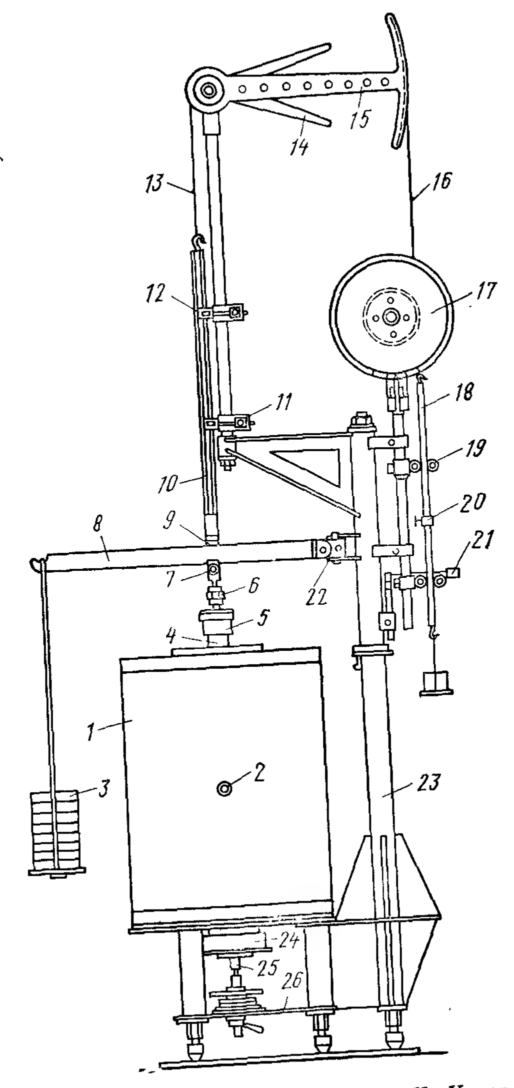


Рис. 33. Общий вид прибора Э. К. Келера для определения деформации материалов под нагрузкой при высоких температурах

внутри печи осуществляется оптическим пирометром через горизонтальную боковую трубу *2*.

Испытуемый образец устанавливают на нижний штемпель, закрепленный в специальной обойме. Герметизация рабочего пространства печи обеспечивается наличием песочного затвора *24*. Нижний штемпель может перемещаться вверх и вниз с помощью установочного винта *25*. Песочный затвор, установочный винт со штурвалом смонтированы на металлической подставке *26*.

Давление на образец передается через верхний штемпель *4*, который (так же как и нижний штемпель) изготовляют из специальной высокоглиноземистой массы. Чаще всего — это корундовые изделия, обладающие высокой огнеупорностью (до 2000° С). Обычно на корундовую часть штемпелей устанавливают промежуточные цилиндры из электродного угля диаметром 50—60 мм и высотой около 70—80 мм. При этом наиболее нагретые концы корундовых штемпелей находятся вне зоны максимальной температуры и практически не деформируются даже при максимальном нагреве печи (до 1700—1750° С).

Корундовые штемпели применяют в целях экономии электродных углей. Однако крепление промежуточных цилиндров к корундовым штемпелям сопряжено со значительными трудностями и поэтому на практике чаще пользуются угольными стержнями с небольшими прокладками (толщиной 10—15 мм) из электродного угля.

Верхний штемпель крепится к обойме *5*, которая с помощью соединительной гайки *6* связана со штоком, передающим давление на образец.

Рычаг *8*, создающий давление, укреплен двойным шарниром *22* на главной стойке прибора *23*. Своей средней частью он опирается на шариковый ролик *7*, помещенный в серьге *9* штока давления *10*, а к концу рычага подвешивается груз *3*, создающий необходимое давление на испытуемый образец. После окончания испытания груз снимается, нагрузочный рычаг выводится из серьги и опускается вдоль главной стойки прибора.

Направляющие ролики *12* и ведущий шток давления укреплены на особых держателях *11*, регулируя которые можно обеспечить точное вертикальное положение штока и необходимую степень свободы его скольжения в направляющих.

Мягким стальным тросиком *13* шток *10* соединен с секторным рычагом *15*, который в 10-кратном увеличении передает смещение верхнего штемпеля на отсчетную систему. Качания секторного рычага ограничены вилкой *14*.

Отсчетное устройство состоит из шкива с укрепленной на нем дисковой шкалой *17*. Через шкив перекинут в один оборот тонкий гибкий трос *16*, к которому подвешен шток *18*, служащий натяжным грузом. Этот шток движется в направляющих роликах *19*. Муфта *20* служит для укрепления в ней самопишущего пера, а кронштейн *21* — для установки барабана с часовым механизмом. При отсутствии самописца деформация образца регистрируется по шкале *17*, отсчеты по которой производятся в 30-кратном увеличении. Цена деления шкалы соответствует 0,005 мм изменения высоты образца.



Рис. 34. Прибор для определения деформаций материалов под нагрузкой при высоких температурах с непосредственной передачей нагрузки на образец

Нагрузочная и отсчетная системы уравновешиваются грузом, помещаемым на площадку, подвешенную к штоку *18*, после чего уже нагружается система прибора расчетным грузом *3*.

Прибор допускает регулирование давления на образец стандартного размера от 0,01 МПа до 1 МПа.

На рис. 34 изображен прибор с непосредственной передачей давления на образец. Этот прибор состоит из нагрузочного аппарата и электропечи.

Электрическая криптоловая печь *12* с вертикальной жаровой трубой устанавливается на фундаменте из огнеупорного кирпича.

Испытуемый образец *13* вводят в печь сверху специальными щипцами и устанавливают точно в центр на угольный электрод *14*, служащий нижним штампом. Нагрузочный аппарат устанавливают так, чтобы металлический штамп *11* с укрепленным в нем угольным электродом находился в центре жаровой трубы и точно над нижним угольным штампом. Кранообразная станина *7*,

поддерживающая нагрузочный металлический штамп *11*, может вращаться вокруг вертикальной оси, наглухо закрепленной в массивном чугунном башмаке *1*. Нагрузочный штамп, масса которого около 61 кг, соединен посредством двух гибких металлических тросов *8*, проходящих через две пары шкивов *9*, с противовесом. Нагрузочный штамп перемещается в двух направляющих кольцах *10*.

Противовес состоит из 10 пластин *5* с массой по 5 кг и имеет тарелку для дополнительного нагружения *3* и шток противовеса *2*. Рычажок *4* служит для облегчения отделения пластин друг от друга при их снятии. Изменяя количество пластин и величину дополнительного груза, можно регулировать величину давления на образец от 0 до 6,1 МПа.

Прибор снабжен шкалой, позволяющей фиксировать деформацию образца с точностью до 0,1 мм, а также самопишущим прибором *6*.

Испытание образцов производят следующим образом. Путем высверливания из изделий готовят цилиндрические образцы высотой 50 мм и диаметром 36 мм. Отклонение от этих размеров допускается не более чем на ±1 мм. Верхнее и нижнее основания образца должны быть строго параллельными и тщательно отшлифованными.

Образец устанавливают на нижний штемпель и вводят его в среднюю часть жаровой трубы, печи, в зону наивысшей температуры.

Между образцом и угольными стержнями как сверху, так и снизу кладут круглые прокладки толщиной 10 мм, диаметром 50 мм, изготовленные из электродного угля. Бо́льший диаметр прокладок по сравнению с диаметром стержней обеспечивает равномерную передачу давления на всю торцовую поверхность образца даже при частичном сгорании угля.

После включения печи следят за скоростью подъема температуры, которая вначале не должна превышать 10° С в минуту, а затем после достижения 600—700° С 4—5° С в минуту.

Контроль за температурой до 800° С осуществляют с помощью термопары, а при большей ее величине пользуются оптическим пирометром.

Каждые 10 мин в рабочем журнале производят запись температуры, времени и показаний прибора.

Особо отмечают: а) температуру начала размягчения (НР), которая фиксируется при уменьшении высоты образца на 0,3 мм, причем за первоначальную принимают высоту образца после его расширения; б) температуру, соответствующую сжатию образца на 40%.

После достижения такой величины сжатия испытание прекращают. Иногда не удается зафиксировать температуру, при которой наблюдается сжатие образца на 4 и 40%, вследствие внезапного его разрушения вскоре после начала размягчения или даже без предварительной деформации (например, у динаса). В этом случае температура, при которой происходит резкая деформация, отмечается в протоколе испытаний как температура разрушения.

По данным наблюдений определяют температурный интервал размягчения материала, который соответствует разности температур 40%-ного сжатия (или соответственно температуры разрушения) и началу размягчения.

Запись в рабочем журнале рекомендуется производить по следующей форме:

№ испытания ..., прибор ..., дата ..., наименование материала ..., его средняя плотность ... кг/м³, удельная нагрузка на образец . . . . . МПа.

№ образца	Время отсчетов по приборам, мин		Напряжение на контактах печи, В	Сила тока в печи, А	Температура в печи, °С		Показания прибора по шкале	Величина деформации		Примечания
	календарное	истекшее от начала испытания			по термопаре	по оптическому пирометру		мм	%	

Результаты испытания не могут быть приняты в следующих случаях: при неправильной «грибовидной» форме деформации образца; перекосе образца; при одностороннем оплавлении образца или других признаках неравномерного нагрева.

Во всех этих случаях после устранения дефекта требуется повторить опыт.

Определение температурных коэффициентов линейного и объемного расширения. Знание точной величины

температурного расширения теплоизоляционных материалов, особенно тех, которые применяют при высоких температурах, имеет большое практическое значение. Чем больше величина температурного расширения материала, тем, как правило, ниже его термическая стойкость, т. е. меньше циклов нагревания и охлаждения этот материал может выдержать. Следовательно, долговечность материала в значительной степени зависит от величины его температурного расширения.

Различают два вида температурного расширения: 1) обратимое, происходящее под влиянием только температурного воздействия и исчезающее при охлаждении материала; 2) необратимое, происходящее под влиянием физико-химических превращений в материале при его нагревании. Обычно этот вид температурного расширения (сжатия) наблюдается в некоторых материалах (чаще всего огнеупорных керамических) при значительных температурах (выше 600—800° С).

Температурное расширение материалов выражают следующими величинами:

1) температурным коэффициентом линейного расширения

$$\alpha=\frac{1}{L}\,\frac{dL}{dt};$$

2) средним температурным коэффициентом линейного расширения в некотором интервале температур

$$\alpha_{ср}=\frac{L_t-L_{t_0}}{L_{t_0}(t-t_0)};$$

3) процентом температурного расширения

$$П=\frac{L_t-L_{t_0}}{L_{t_0}}\,100\%,$$

где L_{t_0} — первоначальная длина образца при 0° С или комнатной температуре, мм; L_t — длина образца при температуре измерения, мм; dL/dt — производная длина образца по температуре.

Взаимосвязь между процентом температурного расширения и средним температурным коэффициентом линейного расширения выражается формулой $П=\alpha_{ср}t\cdot100\%$.

Температурный коэффициент объемного расширения

$$\beta=\frac{V_t-V_{t_0}}{V_{t_0}(t-t_0)},$$

где V_{t_0} — первоначальный объем образца при 0° С; V_t — объем образца после нагревания до температуры t° С.

Величина температурного расширения материалов зависит от температуры, до которой данный материал нагревают. Для большинства материалов расширение при высоких температурах больше, чем при низких. Ча-

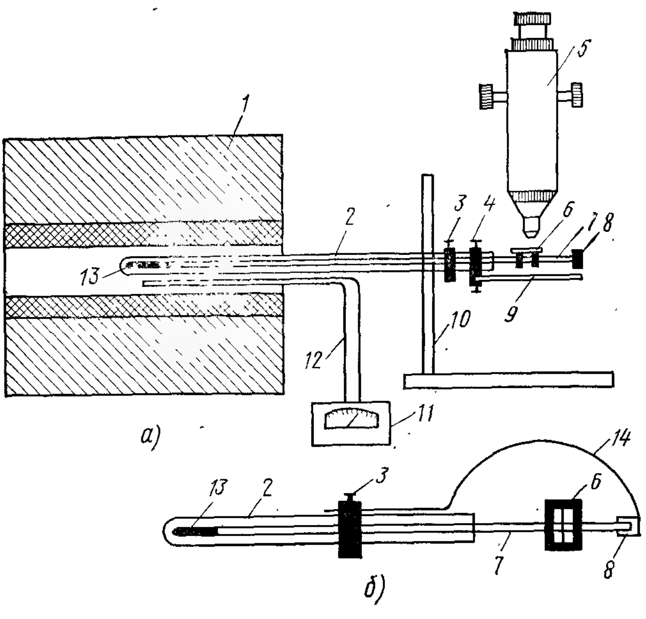


Рис. 35. Схема кварцевого дилатометра:

а — полная схема прибора; *б* — вид сверху на главные детали прибора

ще всего температурный коэффициент линейного (объемного) расширения определяют в интервале температур от 20 до 600—700° С и реже (для огнеупорных материалов) до 1250—1300° С.

Для определения температурного коэффициента линейного расширения предложен целый ряд приборов, наибольшее распространение из которых получили кварцевые дилатометры (рис. 35).

В центре горизонтальной электрической печи *1* с платиновым или нихромовым сопротивлением вставлена кварцевая трубка *2* с запаянным концом, прикрепленная зажимом *4* к столу микроскопа *9*.

Образец *13* диаметром 4—5 мм и длиной 100 (50) мм помещают в кварцевую трубку и плотно прижимают к запаянному концу с помощью стальной пружины *14*, которая давит на кварцевый стержень или трубку *7*, свободно входящую в стальной колпачок *8*, прикрепленный к пружине *14*. Пружина *14* укреплена на трубке *2* с помощью зажима *3*. Перемещение стержня *7* под давлением расширяющегося при нагревании образца или под давлением пружины *14* в случае сжатия образца фиксируется с помощью микроскопа *5*, снабженного окулярной микрометрической шкалой. Отсчеты величины смещения стержня производятся посредством указателя, представляющего собой легкую металлическую рамочку *6*, в которую вставлено двойное покровное стекло со стеклянным волоском внутри, расположенным перпендикулярно оси испытуемого образца. Рамочка *6* укреплена зажимами на стержне *7*, что дает возможность передвигать ее вдоль стержня в случае необходимости. Обычно микроскоп и печь устанавливают на одной подставке и отделяют микроскоп от печи экраном *10*.

Температуру в печи измеряют термопарой *12* и гальванометром *11*. При испытании теплоизоляционных материалов, прочность которых сравнительно небольшая, бывает трудно изготовить образцы указанных выше размеров. Поэтому допускается некоторое отклонение по размерам образцов. Обычно при испытании таких материалов готовят образцы в виде цилиндров диаметром до 15 мм и длиной 50 мм и более.

На основании данных, полученных при проведении опыта, строят кривую расширения образца. На оси абсцисс откладывают показания гальванометра, а на оси ординат — соответствующие деления окулярной микрометрической шкалы, пересчитанные в миллиметры.

Результаты испытания рассчитывают по формуле

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{b(a+K)}{(t-t_0)\,l},$$

где $\alpha_{\text{ср}}$ — средний температурный коэффициент линейного расширения; b — деление окулярной микрометрической шкалы, мм; a — число делений микрометрической шкалы, на которое переместился указатель в интервале температур от t_0 до t; K — константа прибора, определяемая специальными опытами при градуировке дилатометра; t — наивысшая температура опыта, °С; t_0 — начальная температура опыта, °С; l — длина испытуемого образца, мм.

Часто рассчитывают не только средний температурный коэффициент линейного расширения, но и коэффициенты для промежуточных интервалов температур, например для 20—100, 100—200, 200—300° С и т. д.

Знание величины расширения материала в промежуточных интервалах температур позволяет представить полную картину деформации данного материала при нагревании.

По кривой, построенной на основании опытных данных, судят о равномерности расширения испытываемого материала при его постепенном нагревании. Чем плавнее происходит расширение материала с увеличением температуры, тем, как правило, выше его термическая стойкость.

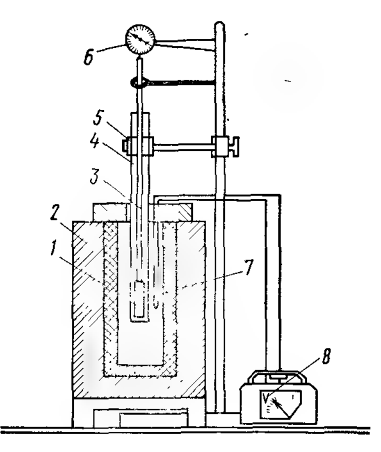


Рис. 36. Схема вертикального дилатометра

Второй прибор, позволяющий быстро и просто провести опыт и получить достаточно точные результаты, изображен на рис. 36.

Этот дилатометр отличается от рассмотренного выше тем, что он устанавливается вертикально и отсчет величины деформации материала производится не с помощью микроскопа, а посредством индикатора с точностью до 0,001 мм.

Прибор состоит из вертикальной муфельной электропечи *2*, кварцевой трубки *4*, укрепленной на кронштейне *5*, кварцевого стержня *3*, который передает деформацию образца *1* к индикатору *6*, фиксирующему эту деформацию. Измерение температуры осуществляется с помощью термопары *7*, а ее регулирование — ступенчатым автотрансформатором *8*.

Определение линейной температурной усадки. Знание этого показателя необходимо при конструировании тепловой изоляции тепловых агрегатов и теплопроводов,

а также для правильного ведения технологических процессов при производстве изделий, особенно обжиговых.

Для проведения испытания изготовляют образцы размером в плане 100×100 мм и толщиной, равной толщине изделия, из которого они вырезаны.

Грани образцов должны быть равными и параллельными. Испытуемый образец прокалывают вблизи торцов стальными иглами и измеряют штангенциркулем расстояния между ними с обеих сторон образца.

Затем образец в горизонтальном положении помещают в муфельную печь на керамическую подставку так, чтобы иглы находились на боковых гранях.

Подъем температуры в печи до ее заданного значения должен быть непрерывным и равномерным (100—120° С в 1 ч).

Образец выдерживают в печи при заданной температуре, сооотвествующей стандарту на данный материал, в течение 8 ч. После окончания нагревания образец охлаждают непосредственно в печи до комнатной температуры, после чего вновь измеряют расстояние между иглами.

Линейную температурную усадку L (в процентах) вычисляют с точностью до 0,1%

$$L=(l_1-l_2)\,100,$$

где l_1 — среднее расстояние между иглами (с одной и другой сторон образца) до нагревания, мм; l_2 — тот же показатель после нагревания и охлаждения, мм

Определение термической стойкости. Под термической стойкостью материалов понимают их способность выдерживать резкие колебания температуры без разрушения. Термическая стойкость является одним из наиболее важных термомеханических свойств высокотемпературных и огнеупорных теплоизоляционных материалов, так как она в основном определяет продолжительность службы этих материалов, т. е. их долговечность.

Причиной разрушения материалов при резкой смене температур являются напряжения, возникающие в материале при его нагревании и резком охлаждении.

Разрушение материала происходит обычно под влиянием растягивающих напряжений (при охлаждении) или напряжений сдвига (при нагревании). Разрушению могут способствовать резкие различия в температурных

коэффициентах расширения компонентов, составляющих материал, а также отдельных его фаз.

По данным ряда исследований на термостойкость теплоизоляционных материалов значительное влияние оказывает характер пористости. Например, термостойкость легковесных шамотных огнеупоров, полученных пеновым способом, составляет 7—12 теплосмен при нагревании до 1200° С и охлаждении на воздухе до потери 20% массы, а термостойкость шамотных легковесов, изготовленных по способу выгорающих добавок, определенная таким же способом, 19—35 воздушных теплосмен.

На термическую стойкость оказывают заметное влияние и технологические факторы: гранулометрия и состав шихты, способ получения пористой структуры материала, способ формования изделий, режимы тепловой обработки, форма и размеры изделий и т. п.

Существующие методы определения термической стойкости материалов можно разделить на три группы: расчетный метод — по физическим характеристикам; экспериментальный — по потере прочности после определенного числа теплосмен; экспериментальный — по числу теплосмен, которые образец выдерживает до потери определенного процента массы или до полного разрушения.

Расчетный метод не нашел широкого распространения из-за сложности определения необходимых констант и частого несовпадения с результатами, полученными экспериментальным путем.

Метод по потере прочности может быть рекомендован в основном для оценки термостойкости однородных плотных изделий и образцов.

Для высокотемпературных и огнеупорных теплоизоляционных материалов, прочность которых сравнительно невелика, наиболее приемлем третий способ.

Согласно ГОСТ 7875—56, термостойкость огнеупорных материалов определяют на образцах — кирпичах стандартного размера путем нагревания их торцевой стороны при температуре 1300° С с выдерживанием при этой температуре в течение 15 мин и последующего резкого охлаждения в проточной воде комнатной температуры. Термостойкость оценивают по числу теплосмен, которые образец выдержал до потери 20% массы.

Многие теплоизоляционные материалы, применяющиеся для высокотемпературной изоляции (диатомитовые обжиговые, перлитокерамические, вермикулитокерамические и т. п.), испытывать при таких условиях нельзя, так как их температура применения гораздо ниже и обычно не превышает 800—1000° С. Поэтому такие материалы нагревают до их температуры применения или до максимальной температуры, при которой они обжигались. Кроме того, при испытании пористых материалов охлаждение образцов или изделий производят на воздухе (струей холодного воздуха), а не в воде, так как при последующем нагревании образцов возможно их разрушение вследствие активного парообразования.

Если испытания на термическую стойкость производят для получения сравнительных данных, а также при выполнении учебных лабораторных работ, то обычно используют небольшие образцы в виде плиток размером 50×30×20 или 100×50×30 мм. Испытание промышленной продукции производят на целых изделиях. В этом случае образцами для испытания служат изделия длиной 200—250, шириной 100—150 и толщиной 50—100 мм. При испытании изделий больших размеров образцы получают путем распиловки их на отдельные части и подтесывания. При этом в протоколе испытаний обязательно указывают первоначальную форму и размеры испытываемых изделий, так как получаемые цифровые результаты не вполне сравнимы с результатами испытаний изделий, не требующих дополнительной обработки.

Нагревание образцов производят в электрической лабораторной печи, нагревательные элементы которой (нихромовые спирали, силитовые стержни и т. п.) расположены в одной плоскости, параллельной плоскости торцов нагреваемых образцов.

Стандартная печь предназначена для одновременного испытания шести образцов — кирпичей стандартного размера. Контроль температуры осуществляется с помощью термопар, которые вводят в печь через специальное отверстие в ее своде и устанавливают между торцевыми поверхностями образцов и нагревательными элементами печи на высоте середины образцов и на расстоянии 10 мм от их торцов.

Испытание производят следующим образом. Предварительно высушенные при температуре 105—110° С и взвешенные образцы загружают в печь, разогретую до

температуры испытания, таким образом, чтобы концы их выступали в печное пространство на 50 мм. Для создания одинаковых условий нагревания образцов крайние из них защищают «холостыми» кирпичами, которые не подвергают последующим испытаниям. При разрушении «холостых» кирпичей их заменяют новыми. Все зазоры между отдельными образцами и стенками загрузочного отверстия закладывают шамотными вкладышами или забивают огнеупорной ватой.

Образцы выдерживают в печи при постоянной температуре (заданной температуре испытания) в течение 40 мин. Так как при загрузке образцов температура в печи падает, то отсчет времени ведут с того момента, когда в печи восстанавливается необходимая температура.

После выдержки образцы быстро вынимают из печи и охлаждают струей холодного воздуха, используя для этого вентилятор. После охлаждения образцов до 25—30° С производят описание внешних изменений, происходящих с образцами: появление трещин, отколов и т. п. При этом отколовшимися считают не только те куски, которые отделились от образца во время его охлаждения, но и те, которые отпадают от него при легком нажатии пальцем. Все отколовшиеся куски собирают и взвешивают, а образцы подвергают повторному испытанию.

Каждый нагрев и каждое охлаждение в сумме составляют одну воздушную теплосмену.

Обработку полученных результатов производят следующим образом. После каждой теплосмены образцы осматривают и устанавливают: 1) наличие трещин, их ориентировку и размеры; 1) появление потерь массы; 3) потерю образцом 20% своей первоначальной массы; 4) разрушение образца.

При определении числа выдержанных образцом теплосмен принимают в расчет и ту последнюю полную теплосмену (нагревание плюс охлаждение), при которой наступило разрушение образца. Если же разрушение наступило на стадии нагревания, то эта теплосмена во внимание не принимается.

Если в течение нескольких теплосмен потери массы не наблюдались, а затем наступило значительное откалывание, в результате которого общая потеря массы образца превысила 25%, то за показатель термической

стойкости принимают число теплосмен на единицу меньше порядкового номера последней. В случае, когда после этой последней теплосмены потеря массы находится в пределах 20—25%, то она принимается в расчет.

Окончательный подсчет количества теплосмен производят по результатам испытания всех шести стандартных образцов. При этом указывают максимальную температуру нагрева, способ охлаждения и до какой температуры охлаждались образцы. Например, испытывался шамотный легковес со средней плотностью 400 кг/м^3. По результатам испытания делается следующая запись. Шамотный легковес марки ШБЛ-4 выдержал семь воздушных теплосмен от 1000 до 30° С.

Результаты испытаний рекомендуется записывать в виде таблицы по следующей форме:

Наименование материала	Размер образцов, мм	Номер образцов	Число теплосмен				Общий процент потери в массе	Характер разрушения	Примечание
			до появления трещин	до начала потерь массы	до 20% потери массы	до полного разрушения			

§ 10. Специфические свойства минеральной ваты и изделий из нее

Минеральная вата представляет собой волокнистый материал, получаемый из силикатных расплавов. Сырьем для производства минеральной ваты служат многие горные породы, металлургические шлаки, золы от сжигания каменных углей и торфа, а также смеси некоторых окислов (SiO_2 и Al_2O_3; SiO_2 и MgO; SiO_2 и CaO и др.). Минеральная вата, получаемая из смеси некоторых окислов, в основном предназначается для изготовления высокотемпературных и огнеупорных изделий, применяющихся для устройства тепловой изоляции тепловых агрегатов, способных выдерживать действие высоких температур (выше 1000° С).

Обычная минеральная вата, получаемая из металлургических шлаков и горных пород, как правило, применяется для производства теплоизоляционных изделий

строительного назначения, а также для изоляции некоторых видов котлов и теплопроводов, температура которых не превышает 400—600° С.

При оценке качества минеральной ваты наряду со стандартными определениями объемной массы (средней плотности), теплопроводности, производят ряд специфических определений: устанавливают количество корольков, измеряют толщину (иногда и длину) волокон, определяют содержание битума или минеральных масел, а также серы, для огнеупорных волокон определяют максимальную температуру применения.

Знание этих характеристик позволяет полнее оценивать качество минеральной ваты и определять рациональные области ее применения.

При испытании изделий из минеральной ваты тоже возникает необходимость проведения некоторых специфических определений, цель которых полнее охарактеризовать качество изделий, а также организовать контроль технологического процесса при их изготовлении. К таким определениям относятся выявление уплотняемости изделий под нагрузкой, определение коэффициента возвратимости (особенно важна эта характеристика для изделий, предназначенных для устройства компенсационной тепловой изоляции, например, в воздухонагревателях доменных печей), определение количества связующих веществ, содержащихся в изделиях.

Определение содержания корольков в минеральной вате. На свойства минеральной ваты большое влияние оказывает качество переработки расплава в минеральное волокно. В процессе переработки в силу различных причин не весь расплав превращается в волокна. Часть расплава не вытягивается в нити, а застывает в виде включений шаровидной, грушевидной или гантелеобразной формы. Эти включения, называемые «корольками», в значительной степени ухудшают свойства минеральной ваты, увеличивая ее среднюю плотность и теплопроводность.

Содержание в минеральной вате корольков (частиц размером более 0,25 мм) определяют с помощью специального прибора, изображенного на рис. 37, который представляет собой вращающийся вокруг горизонтальной оси цилиндр с отверстиями в стенках, заключенный в металлический кожух и снабженный емкостью для сбора корольков.

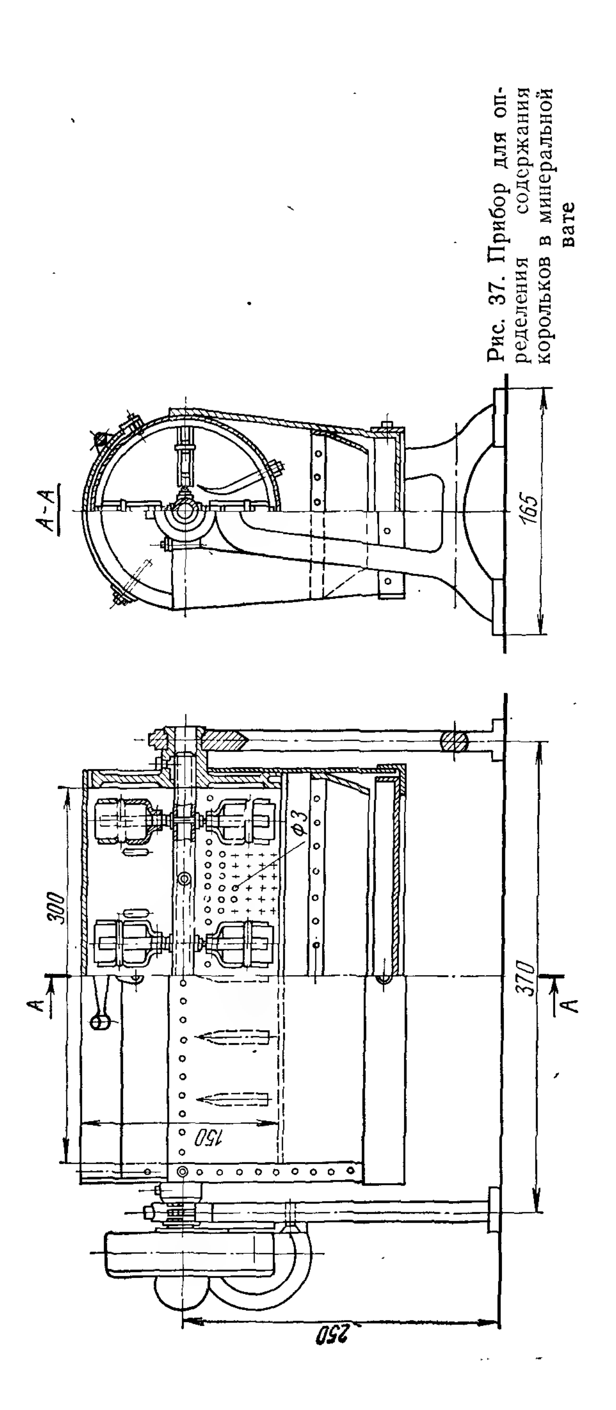


Рис. 37. Прибор для определения содержания корольков в минеральной вате

Определение производят следующим образом. Из любых трех упаковочных мест отбирают по одной навеске минеральной ваты массой 50 г каждая; взвешивание производят с точностью до 1 г. Навеску ваты прокаливают в муфельной печи при температуре 600° С в течение 30 мин, а затем помещают в цилиндр прибора, и приводят прибор во вращение на 15 мин (частота вращения вала прибора — 120 об/мин).

В процессе работы прибора часть ваты гранулируется и остается в цилиндре прибора, другая часть в виде измельченных волокон и корольков проходит через отверстия в стенках цилиндра и собирается в приемнике, расположенном под цилиндром. Измельченные волокна ваты удаляют из приемника струей воздуха (с помощью мехов), а корольки выгружают и просеивают через сито с отверстиями 0,25 мм. Остаток на сите взвешивают с точностью до 0,1 г. Зная массу навески (50 г) и массу корольков (результат взвешивания), определяют процентное содержание корольков в данной навеске ваты. Содержание корольков в данной партии ваты вычисляют как среднюю арифметическую величину по результатам трех определений.

Определение среднего диаметра волокон минеральной ваты. Средняя плотность минеральной ваты, ее теплопроводность во многом зависят от диаметров волокон, составляющих эту вату. Установлено, что для различных температурных условий необходимо использовать вату с определенной толщиной волокон. Например, при высоких температурах (800 -1000° С и выше) следует стремиться к возможно большему снижению диаметра волокна с целью уменьшения конвективного и лучистого переноса тепла, поэтому знание этого показателя минеральной ваты часто бывает необходимым.

Диаметр волокон минеральной ваты определяют с помощью микроскопа при увеличении в 450—720 раз. Удобно пользоваться микроскопом МБ-9 (биологическим). Он позволяет получать различное увеличение, так как в комплекте имеется набор объектов и окуляров различной степени увеличения.

Для определения линейных размеров предметов, рассматриваемых с помощью микроскопа, в окуляр вкладывается линза с делениями (линеечка). Сравнивая размеры исследуемого предмета с делениями этой линеечки, определяют размеры предмета.

При этом предварительно определяют цену делений линеечки. В каждом микроскопе имеется приспособление для определения цены деления линеечки окуляра — объект-микрометр. Это металлическая пластинка с вмонтированным в нее стеклышком, на котором нанесены деления размером 0,01 мм.

Объект-микрометр устанавливают в зажимы предметного столика микроскопа. Затем, добившись с помощью регулировочных винтов такой установки микроскопа, при которой получается отчетливое изображение делений объект-микрометра и линеечки окуляра, наложенных друг на друга, определяют цену деления линеечки l. Для этого на условном интервале a, границы которого определяются совпадением делений объект-микрометра и линеечки, подсчитывают количество делений объект-микрометра N и линеечки n. Цену деления линеечки определяют (мм)

$$l=N\cdot 0{,}01/n;\ l=0{,}01N\cdot 1000/n.$$

После этого из десяти различных мест пробы минеральной или стеклянной ваты берут навески массой по 1 г каждая. Все отобранные навески смешивают путем их легкого встряхивания в картонной коробке, а затем разделяют на десять примерно равных частей. Каждую часть рассматривают под микроскопом, определяя диаметр 10 волокон. Средний диаметр волокон ваты вычисляют как среднюю арифметическую величину по результатам 100 определений.

Каждое определение производят следующим образом. На предметное стекло микроскопа помещают испытуемый образец ваты, укладывая волокна в одном направлении. Для предотвращения возможного сдвига волокон на предметное стекло предварительно наносят каплю эмерсионной жидкости, которая закрепляет вату на стекле. Пользуясь окуляром, цена делений линеечки которого известна, производят измерения, при этом предметные стекла с испытуемой ватой путем поворота столика микроскопа устанавливают таким образом, чтобы волокна ваты располагались перпендикулярно шкале окулярной измерительной линейки. Одновременно вычисляют процентное содержание волокон, толщина которых превышает 15 мкм.

Определение содержания органических связующих веществ или минеральных масел в минеральной вате. В соответствии с действующими в СССР стандартами

содержание битума или минеральных масел в минеральной вате допускается не более 1% по массе. Повышенное содержание этих веществ делает вату непригодной для применения при высоких температурах, так как в этом случае минеральные масла и битум могут возгораться.

Качество минераловатных изделий во многом зависит от содержания в них органических связующих веществ.

Определение содержания органических вяжущих веществ в изделиях, а также битума или минеральных масел в минеральной вате производят следующим образом.

Из трех упаковочных мест берут по три навески минеральной ваты по 5 г каждая. Навеску ваты высушивают до постоянной массы при температуре 105—110° С и затем взвешивают с точностью до 0,01 г. Навеску помещают в муфельную печь и прокаливают при температуре 500—600° С до полного выгорания битума или минеральных масел, что характеризуется постоянством массы пробы после очередного прокаливания в течение 15 мин, и снова взвешивают, определяя массу ваты после прокаливания.

Содержание связующих веществ в минераловатных изделиях определяют, используя те образцы, на которых производилось определение влажности изделий. Их прокаливание проводят так же, как прокаливание навесок минеральной ваты. Испытание считается законченным, если результаты взвешивания после повторного прокаливания совпадут с предыдущими результатами или разница будет составлять не более 0,02%. Содержание органических веществ или минеральных масел подсчитывают, %

$$C=\frac{m_1-m_2}{m_2}100,$$

где m_1 — масса высушенной навески ваты или образцов, г; m_2 — масса навески ваты или образцов после прокаливания, г.

Содержание битума или минеральных масел в партии ваты вычисляют как среднее арифметическое по результатам девяти определений, а содержание органических связующих веществ в минераловатных изделиях — как среднее арифметическое по результатам двух определений (двух партий образцов).

Для определения водостойкости минеральной ваты из разных мест пробы берут среднюю пробу массой 15—20 г.

Эти пробу помещают в фарфоровую чашку и с целью удаления органических веществ прокаливают в муфельной печи при температуре 600° С в течение 15 мин. Часть прокаленной пробы в количестве 5 г измельчают в фарфоровой ступке до порошкообразного состояния и просеивают через сито № 0,05. Порошок в количестве 0,5 г, взвешенный с точностью до 0,01 г, переносят в стакан емкостью 150 м³, увлажняют несколькими каплями этилового спирта и добавляют 100 см³ раствора соляной кислоты концентрацией 0,01 Н.

В стакан опускают стержень электромеханической мешалки и электроды pH-метра, включают мешалку и десятиминутные песочные часы. При отсутствии мешалки перемешивание можно производить вручную. Через 10 мин записывают значение pH.

Водостойкость минеральной ваты оценивают по среднеарифметической величине pH результатов трех определений, при этом погрешность в определении pH не должна быть более ±0,2.

Температуроустойчивость определяют следующим образом. Металлическую форму размером 80×80×80 мм заполняют минеральной ватой. Плотность заполнения должна в 1,5 раза превышать ее среднюю плотность.

На поверхность образца устанавливают металлический штамп с размером основания 60×60 мм и массой 0,72 кг. Заполненную ватой форму со штампом помещают в муфельную печь с терморегулятором, температуру которой повышают со скоростью 5° в минуту, и определяют температуру, при которой величина погружения штампа достигнет 8 мм. Это свидетельствует о размягчении волокон.

Остаточная деформация сжатия плит весьма важный показатель, характеризующий поведение этих изделий в реальных условиях (при хранении в штабелях, при транспортировании, и т. п.). Чем выше остаточная деформация сжатия, тем ниже качество изделий и их теплоизоляционные свойства.

Для определения сжимаемости изделий применяют прибор, приведенный на рис. 38. Масса подвижной части 2 прибора составляет 0,5 кг, а суммарная масса подвижных частей 2, 3, 7 и 4 вместе со стержнем 5 равна 2,0 кг.

Перед испытанием прибор устанавливают по уровню в строго горизонтальное положение во избежание излишнего трения подвижных частей и снижения нагрузки.

Для испытания из изделий вырезают образцы размером в плане 100×100 мм и толщиной, равной толщине изделия.

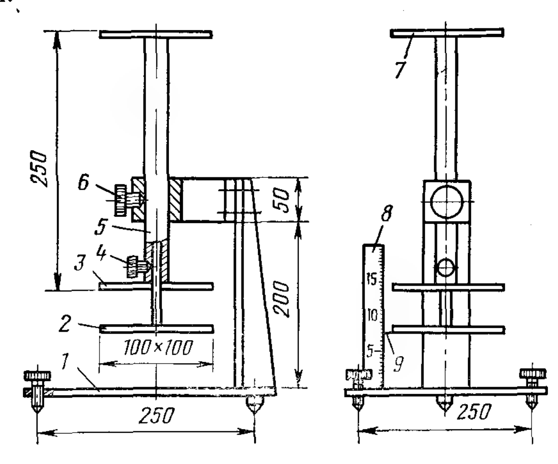


Рис. 38. Прибор для определения сжимаемости и коэффициента возвратимости волокнистых теплоизоляционных материалов

Испытуемый образец укладывают на основание *1* прибора, после чего на его поверхность с помощью винта *4* опускают пластинку *2*. Линейкой *8* замеряют толщину образца h. Затем с помощью винта *6* опускают пластину *3*. Массой пластин *2*, *3* и *7*, винта *4* и стержня *5* создается удельная нагрузка на образец, равная 0,002 МПа.

Под этой нагрузкой образец выдерживают в течение 15 мин, после чего измеряют его толщину h_1 указателем *9* и линейкой *8*.

Сжимаемость вычисляют с точностью до 0,1%:

$$C_{ж}=\frac{h-h_1}{h}\ 100.$$

Результат определяют по трем измерениям как среднеарифметическую величину.

Определение упругого сжатия (коэффициента возвратимости). Данное испытание проводят,

пользуясь тем же прибором (рис. 38), и изготовляют такие же образцы, как и в предыдущем случае.

Толщину образца h определяют под удельной нагрузкой 0,0005 МПа, опуская на его поверхность плиту *2*. После этого образец нагружают, опуская на него все подвижные части прибора и устанавливая на пластину *7* груз массой 8 кг. Таким образом удельная нагрузка на образец составляет в этом случае 0,01 МПа. Под

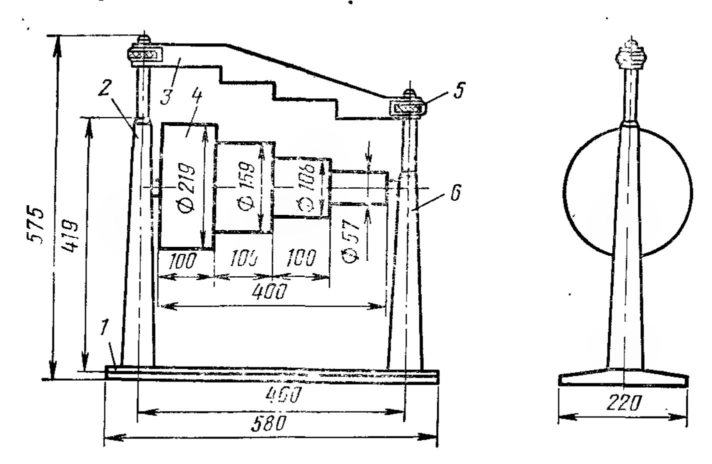


Рис. 39. Прибор для определения гибкости теплоизоляционных материалов

этой нагрузкой образец выдерживают 15 мин, после чего всю подвижную часть, включая плиту *2*, поднимают и закрепляют винтами *6* и *4*. Через 15 мин после снятия груза вновь опускают пластину *2* на образец и оставляют ее в этом положении в течение 5 мин, затем по шкале *8* определяют толщину образца (h_1).

Упругое сжатие (коэффициент возвратимости $K_в$) вычисляют с точностью до 0,01 МПа:

$$K_в = h_1/h,$$

где h — толщина образца под нагрузкой 0,0005 МПа, мм; h_1 — толщина образца после снятия нагрузки 0,01 МПа, мм.

Определение гибкости изделий. Прибор для определения гибкости изделий изображен на рис. 39. Он состоит из горизонтального стержня, закрепленного на двух вертикальных стойках *2* и *6*, расположенных на основании *1*. На стержень насажены четыре валика *4* с размерами по наружному диаметру 57, 108, 159 и 219 мм и длиной 100 мм каждый.

Для испытания подготавливают образец размером в плане 300×100 мм и толщиной, равной толщине изделия, из которого он вырезан. Подготовленный образец закрепляют одним концом на валике диаметром 219 мм с помощью прижимного устройства *3* и *5*, перемещающегося в вертикальной плоскости по стойкам *2* и *6*. После этого его медленно изгибают по поверхности валика. Если при этом на образце не появляются трещины, то испытания продолжают, закрепляя его на валике диаметром 159 мм, затем при этих же условиях на валиках диаметрами 108 и 57 мм.

Показатель гибкости образца принимают по наименьшему диаметру валика, на котором при изгибании образца на его поверхности не будут образовываться трещины.

ГЛАВА II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВОЙСТВ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОЛУФАБРИКАТОВ

Свойства теплоизоляционных материалов в значительной степени зависят от свойств и качества подготовки сырья, полуфабрикатов и формовочных масс. Например, степень измельчения кремнеземистого компонента оказывает большое влияние на прочность и пористую структуру ячеистых бетонов, на водоудерживающую способность, среднюю плотность и прочность известково-кремнеземистых изделий; качество асбеста и степень его распушки оказывают решающее влияние на качество всех асбестосодержащих теплоизоляционных материалов и т. п.

На технологические параметры производства и свойства готовых изделий, пористость которых создается пеновым и газовым способами, значительное влияние оказывают реологические характеристики формовочных масс, которые, в свою очередь, зависят от свойств и гранулометрического состава сырьевых материалов.

Знание методов изучения свойств сырьевых материалов и полуфабрикатов необходимо для получения высококачественных теплоизоляционных изделий.

В данной главе приводятся общие методы определения главных свойств некоторых видов сырья и полуфабрикатов, наиболее широко применяющихся при производстве теплоизоляционных материалов и изделий.

§ 1. Определение дисперсности сыпучих материалов

Дисперсность сырьевых материалов и вяжущих веществ при производстве некоторых видов теплоизоляционных материалов оказывает решающее влияние на прочностные показатели готовых изделий, а в ряде случаев — на их среднюю плотность, пористую структуру и теплопроводность.

Поэтому значение дисперсности применяющегося сырья и вяжущих веществ позволяет регулировать технологический процесс производства и направлять его на получение изделий более высокого качества.

В зависимости от вида материала его дисперсность определяют *ситовым*, *седиментационным* анализами или измерением его удельной поверхности.

Ситовой анализ применяют для определения дисперсности непластичных материалов типа песка, цемента, шамота, диатомита и т. п. Определение гранулометрического состава этим способом заключается в следующем.

Испытуемый материал высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы и отвешивают с точностью до 0,1—1 г навеску определенной величины: для цементов — 100 г, для песков и диатомитов — 1000 г. Подготовленную навеску просеивают через стандартный набор сит, характеристика которых приведена в табл. 3.

Выбор комплекта сит производят, исходя из максимальной и минимальной крупности зерен исследуемого материала. Просеивание навески материала осуществляют следующим образом. Материал высыпают в верхнее сито, сетка которого имеет самые крупные отверстия, и весь набор сит устанавливают на специальный встряхивающий столик рассеивателя конструкции Гипроцемента. После прекращения встряхивания остаток материала на каждом сите взвешивают с точностью до 0,1 г. В целях получения более точных результатов и предотвращения потерь исследуемого материала взвешивание рекомендуется производить вместе с ситом, масса которого

Таблица 3

Размер отверстий в свету, мм		Размер отверстий в свету, мм		Размер отверстий в свету, мм		Размер отверстий в свету, мм		Размер отверстий в свету, мм	
основной ряд	дополнительный ряд	основной ряд	дополнительный ряд	основной ряд	дополнительный ряд	основной ряд	дополнительный ряд	основной ряд	дополнительный ряд
0,04	—	0,28	—	2,0	—	14	—	100	—
—	0,042	—	0,3	—	2,1	—	15	—	105
0,045	—	0,315	—	2,2	—	16	—	110	—
—	0,048	—	0,335	—	2,3	—	17	—	115
0,05	—	0,355	—	2,5	—	18	—	120	—
—	0,053	—	0,375	—	2,6	—	19	—	130
0,056	—	0,4	—	2,8	—	20	—	140	—
—	0,6	—	0,42	—	3,0	—	21	—	150
0,063	—	0,45	—	3,2	—	22	—	—	—
—	0,67	—	0,475	—	3,3	—	23	—	—
0,071	—	0,5	—	3,5	—	25	—	—	—
—	0,075	—	0,53	—	3,8	—	26	—	—
0,08	—	0,56	—	4,0	—	28	—	—	—
—	0,085	—	0,6	—	4,2	—	30	—	—
0,09	—	0,63	—	4,5	—	32	—	—	—
—	0,095	—	0,67	—	4,8	—	34	—	—
0,1	—	0,7	—	5,0	—	35	—	—	—
—	0,105	—	0,75	—	5,2	—	38	—	—
0,112	—	0,8	—	5,5	—	40	—	—	—
—	0,118	—	0,85	—	5,8	—	42	—	—
0,125	—	0,9	—	6	—	45	—	—	—
—	0,132	—	0,95	—	6,5	—	48	—	—
0,14	—	1,0	—	7	—	50	—	—	—
—	0,15	—	1,05	—	7,5	—	52	—	—
0,16	—	1,1	—	8	—	55	—	—	—
—	0,17	—	1,15	—	8,5	—	58	—	—
0,18	—	1,2	—	9	—	60	—	—	—
—	0,19	—	1,30	—	9,5	—	65	—	—
0,20	—	1,4	—	10	—	70	—	—	—
—	0,21	—	1,5	—	10,5	—	75	—	—
0,225	—	1,6	—	11	—	80	—	—	—
—	0,235	—	1,7	—	11,5	—	85	—	—
0,25	—	1,8	—	12	—	90	—	—	—
—	0,265	—	1,9	—	13	—	95	—	—

в сухом состоянии определяется предварительным взвешиванием.

Производя взвешивание остатков на всех ситах, использовавшихся при проведении опыта, определяют процентное содержание каждой фракции в испытуемой

навеске материала. Результаты испытания записывают в виде таблицы по следующей форме:

Размер фракции, мм	Содержание фракции, %

Ситовым анализом можно пользоваться при определении дисперсности различного рода суспензий, например, растворов, шликеров и т. п. Для определения гранулометрического состава жидких масс из средней пробы шликера берут две навески: одну для определения влажности, а другую (100 мл) для определения дисперсности. Определив влажность, вычисляют, какое количество сухого вещества содержится в 100 мл массы. Расчет производят следующим образом. Допустим, что влажность шликера составляет 40%, а масса 100 мл равна 150 г. Следовательно, количество сухого вещества в навеске составит (150·60)/100=90 г.

Одновременно с определением влажности подготавливают набор сит, тщательно очищая их мягкой щеткой, промывая и высушивая в сушильном шкафу при температуре 105—110° С. Затем каждое сито взвешивают с точностью до 0,01 г и собирают в комплект. Отобранную для анализа пробу (100 мл) выливают на сетку верхнего сита и промывают под краном холодной водой. При этом легко встряхивают набор сит до тех пор, пока из самого мелкого (нижнего) сита не пойдет совершенно чистая вода.

Кончив промывать навеску, разбирают сита, помещают их в сушильный шкаф и высушивают до постоянной массы при температуре 105—110° С.

Высушенные сита с остатками материала взвешивают и определяют массу остатков на каждом сите, а затем вычисляют процентное содержание каждой фракции, принимая за 100% массу сухой части шликера (в нашем случае — 90 г).

Ситовой метод дает хорошие результаты при определении грубодисперсных материалов. Обычно в этом случае расхождения в результатах двух определений не превышают 2—3%. При анализе мелкодисперсных ма-

териалов с частицами менее 0,1 мм расхождения в результатах достигают 10—15% и более.

Определение удельной поверхности. Ситовой анализ может дать лишь приближенное представление о гранулометрическом составе мелкодисперсных материалов. Например, при определении дисперсности цемента теоретически, пользуясь самым мелким ситом (№ 004), можно было бы измерить суммарное количество зерен величина которых меньше 0,04 мм. На самом же деле размеры этих зерен и их поверхность ситовым анализом установить не удается. Чтобы иметь представление о суммарной поверхности мелкодисперсных сыпучих материалов измеряют их удельную поверхность.

Удельной поверхностью дисперсного вещества называется сумма поверхностей всех зерен, содержащихся в 1 г этого вещества, минус поверхность мест контакта зерен между собой.

Для определения удельной поверхности мелкодисперсных зерновых материалов известны различные методы. Наиболее распространенными являются методы с применением приборов: поверхностномера (ГОСТ 310—60) и ПСХ-2.

В основу этих методов определения удельной поверхности мелкозернистых материалов положено измерение сопротивления, которое оказывает уплотненный слой испытуемого материала определенной толщины и площади поперечного сечения воздуху, просасываемому под некоторым постоянным давлением через этот слой.

1. Измерение удельной поверхности поверхностномером (ГОСТ 310—60). Поверхностномер (рис. 40) состоит из гильзы *5*, манометра-аспиратора *4*, гидравлического регулятора разрежения *3*, плунжера *1* и груши *2*.

Манометр-аспиратор служит для создания разрежения, благодаря которому воздух просасывается через материал, находящийся в гильзе. Он представляет собой стеклянный сосуд высотой 250 мм, состоящий из двух колен. На одном колене, подсоединенном к общей воздухопроводящей трубке, имеются два расширенных баллона: верхний используется при измерении удельной поверхности более дисперсных материалов; нижний служит для измерения удельной поверхности более грубых порошков. Второе колено манометра-аспиратора расширено и является приемником для жидкости, вытекающей

во время опыта из первых двух баллонов. Все три баллона соединены между собой стеклянной трубкой диаметром 5 мм. Выше и ниже каждого баллона на соединяющей их трубке нанесены отметки. Верхние отметки определяют уровни, до которых перед каждым опытом следует заливать воду, а нижние — до которых эта вода должна вытекать во время опыта.

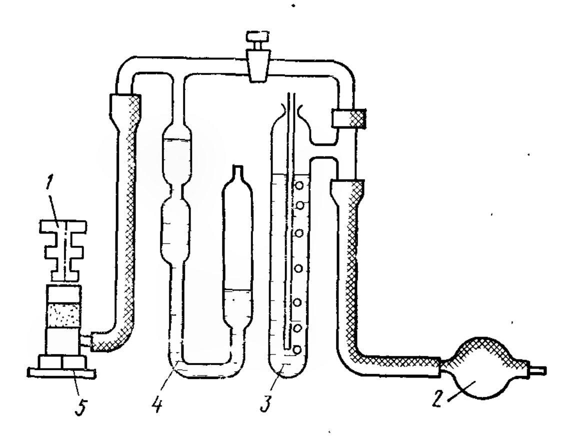


Рис. 40. Схема поверхностномера ГОСТ 310—60

Гидравлический регулятор разрежения представляет собой стеклянный сосуд, в который впаяна не доходящая до дна стеклянная трубка, соединяющая сосуд с наружным воздухом. Этот сосуд присоединяется к прибору с помощью стеклянного тройника. Гидравлический регулятор наполняют насыщенным раствором поваренной соли так, чтобы жидкость в закрытом колене манометра-аспиратора поднялась до высоты, отмеченной двумя черточками.

Гильза служит для размещения и уплотнения в ней навески испытуемого материала. Она представляет собой стальную трубку с внутренней площадью сечения 5 см^2 (внутренний диаметр трубки 25,2 мм). Нижняя часть гильзы (днище) плотно навинчивается на наружную поверхность трубки. В нижнюю часть впаяна или плотно ввинчена боковая отводная трубка, которая заканчивается мундштуком для присоединения гильзы к прибору с помощью резиновой трубки. Внутри гильзы, выше боковой трубки, выточены заплечики, на которые

опирается перфорированная пластинка в виде диска, толщина которого 2, а диаметр 25,2 мм. По всей площади диска равномерно расположено 88 отверстий диаметром 1,2 мм каждое.

Плунжер служит для уплотнения материала в гильзе. Он состоит из металлического корпуса и рукоятки. Внутри корпуса, вдоль его оси, проточено сквозное отверстие для прохода воздуха. В нижнюю часть плунжера запрессована металлическая перфорированная пластинка. На металлическом корпусе плунжера выточено упорное кольцо, которое ограничивает погружение плунжера в гильзу, упираясь в ее верхнюю поверхность. Расстояние между основанием плунжера и перфорированным диском гильзы должно составлять 15±0,5 мм.

Величина удельной поверхности испытуемого материала (м^2/кг)

$$S_0=\frac{k}{\rho}\sqrt{\frac{m^3}{(1-m)^2}}\sqrt{\frac{1}{\eta}}\sqrt{T},$$

где k — константа прибора (указывается в паспорте); ρ — плотность материала, кг/м^3; m — коэффициент пористости материала, находящегося в гильзе, выраженный в долях единицы; T — время снижения уровня жидкости в одном из баллонов манометра-аспиратора от верхней до нижней отметки, с; η — вязкость воздуха при температуре опыта (берется из таблиц).

Из перечисленных величин во время опыта непосредственно определяют величину T, т. е. время, в течение которого через гильзу с уплотненным материалом просасывается определенный объем воздуха, соответствующий тому объему, на какой опускается вода в манометре-аспираторе.

Плотность материала устанавливается отдельным определением.

Вязкость воздуха η при колебании температуры от 8 до 34° С колеблется в пределах от 0,0001749 до 0,0001876, и при расчете численное значение этой величины берется из табл. 5

$$m=(V\rho-Q)/V\rho,$$

где V — объем навески испытуемого материала, м^3; ρ — плотность испытуемого материала, кг/м^3; Q — величина навески испытуемого материала, кг.

Величину Q определяют взвешиванием навески испытуемого материала с точностью до 0,01 г, а объем V, занимаемый материалом в гильзе в уплотненном состоянии, — экспериментально — при калибровке емкости гильзы, которую производят следующим образом. На заплечики гильзы плотно укладывают металлический перфорированный диск, а на него два кружка фильтровальной бумаги. После этого в гильзу до краев наливают ртуть. Затем ее выливают в предварительно тарированный сосуд и взвешивают с точностью до 0,5 г, получая величину P_1. Из гильзы вынимают один кружок фильтровальной бумаги, гильзу наполняют испытуемым материалом, утрамбовывая его плунжером так, чтобы упорное кольцо пришло в соприкосновение с верхними краями гильзы. Спрессованный материал покрывают вынутым ранее кружком фильтровальной бумаги, а свободное пространство гильзы заполняют ртутью. Затем ртуть выливают в тарировочный сосуд, взвешивают и записывают значение этой навески P_2. Объем, занимаемый материалом в гильзе, м³ вычисляют по формуле

$$V=(P_1-P_2)/\rho_{рт},$$

где $\rho_{рт}$ — плотность ртути (берется по табл. 5).

Зная плотность испытуемого материала ρ, объем его в гильзе V и коэффициент пористости m, пользуясь формулой

$$Q=V\rho(1-m);$$

определяют величину исходной навески материала, которую необходимо брать для каждого определения.

При многократном определении удельной поверхности одного и того же материала, характеризующегося одной и той же плотностью и одним и тем же коэффициентом пористости, а также при проведении опытов в примерно одинаковых условиях, величины

$$\frac{k}{\rho}; \quad \sqrt{\frac{m^3}{(1-m)^2}} \quad и \quad \sqrt{\frac{1}{\eta}}$$

можно считать постоянными. Следовательно, вычислять величину удельной поверхности в этом случае можно по сокращенной формуле (м²/кг)

$$S_0=A\sqrt{T},$$

где величина $A=\frac{k}{\rho}\sqrt{\frac{m^3}{(1-m)^2}}\sqrt{\frac{1}{\eta}}$ может быть предварительно вычислена для целой серии опытов.

Таким образом, подготовительные операции к проведению испытания состоят из определения плотности испытуемого материала, калибровки гильзы, определения величины навески материала, сборки и проверки герметичности прибора.

Герметичность прибора проверяют следующим образом. Гидравлический регулятор наполняют насыщенным раствором поваренной соли, а манометр-аспиратор — водой. Гильзу плотно закрывают резиновой пробкой. Затем с помощью резиновой груши создают во всем приборе разрежение, доводя уровень воды в первом колене манометра-аспиратора до верхней отметки, расположенной выше верхнего баллона, и закрывают кран. При полной герметичности прибора уровень воды в манометре-аспираторе при закрытом кране не изменится.

Перед началом опыта проверенный на герметичность поверхностномер устанавливают на стол в строго вертикальном положении. Затем с точностью до 0,01 г отвешивают навеску предварительно высушенного до постоянной массы испытуемого материала в рассчитанном количестве.

На перфорированный диск гильзы укладывают кружок фильтровальной бумаги и затем высыпают в гильзу испытуемый материал. Плунжер вставляют в гильзу и, нажимая на него рукой, прессуют материал до тех пор, пока упорное кольцо плунжера не коснется верхнего края гильзы. После этого приводят в действие водоструйный насос и, открыв кран между манометром-аспиратором и гидравлическим регулятором разрежения, поднимают воду в манометре-аспираторе до уровня двух отметок, нанесенных на первом колене манометра-аспиратора. Затем кран закрывают и ведут наблюдение за падением уровня воды в первом колене манометра-аспиратора, которое имеет место благодаря просасыванию воздуха через слой испытуемого материала.

Когда уровень воды достигнет отметки, нанесенной над верхним баллоном, включают секундомер и останавливают его в тот момент, когда уровень воды понизится до отметки, расположенной между первым и вторым баллонами.

Опыт повторяют три раза и из трех отсчетов вычисляют среднее арифметическое значение времени падения уровня воды, по которому производят расчет величины удельной поверхности испытуемого материала.

Если уровень воды в верхнем баллоне снижается слишком быстро, что затрудняет производство отсчета времени, то пользуются нижним баллоном. В этом случае включают секундомер в момент, когда уровень воды доходит до отметки, расположенной между баллонами, а выключают в момент прохождения его через нижнюю отметку.

Пример. Испытуемый материал — портландцемент марки 500, плотность цемента 3100 кг/м³, постоянная прибора 25, температура окружающего воздуха в момент опыта 20° С, средняя плотность цемента в уплотненном состоянии 1600 кг/м³, диаметр гильзы 0,0252 м, толщина слоя цемента в уплотненном состоянии 0,015 м.

1. Находим объем цемента в гильзе:

$$V=\pi h\frac{D^2}{4}=\frac{3,14\cdot 0,015\,(0,0252)^2}{4}=0,0000075\ \text{м}^3.$$

2. Подсчитываем примерную величину навески цемента:

$$Q=\rho_{\text{ср}}V=1600\cdot 0,0000075=0,012\ \text{кг}.$$

3. Определяем коэффициент пористости:

$$m=\frac{V\rho-Q}{V\rho}=\frac{0,0000075\cdot 3100-0,012}{0,000075\cdot 3100}=0,483.$$

4. Находим значение величины A для серии опытов:

$$A=\frac{k}{\rho}\sqrt{\frac{m^3}{(1-m)^2}}\sqrt{\frac{1}{\eta}}=$$

$$=\frac{25}{3100}\sqrt{\frac{(0,483)^3}{(1-0,483)^2}}\sqrt{\frac{1}{0,00001808}}=38,92.$$

При этом пользуемся табл. 4 для определения значений $\sqrt{\frac{m^3}{(1-m)^2}}$ в зависимости от величины m и табл. 5 для определения зависимостей плотности ртути и вязкости воздуха от температуры.

Таблица 4

m	$\sqrt{\frac{m^3}{(1-m)^2}}$	m	$\sqrt{\frac{m^3}{(1-m)^2}}$	m	$\sqrt{\frac{m^3}{(1-m)^2}}$	m	$\sqrt{\frac{m^3}{(1-m)^2}}$	m	$\sqrt{\frac{m^3}{(1-m)^2}}$
0,450	0,549	—	—	—	—	—	—	—	—
0,451	0,552	0,471	0,611	0,491	0,676	0,511	0,747	0,531	0,825
0,452	0,554	0,472	0,614	0,492	0,679	0,512	0,751	0,532	0,829
0,453	0,557	0,473	0,617	0,493	0,683	0,513	0,755	0,533	0,833
0,454	0,560	0,474	0,620	0,494	0,686	0,514	0,758	0,534	0,837
0,455	0,563	0,475	0,624	0,495	0,690	0,515	0,762	0,535	0,842
0,456	0,566	0,476	0,627	0,496	0,693	0,516	0,766	0,536	0,846
0,457	0,569	0,477	0,630	0,497	0,697	0,517	0,770	0,537	0,850
0,458	0,572	0,478	0,633	0,498	0,700	0,518	0,774	0,538	0,854
0,459	0,575	0,479	0,636	0,499	0,704	0,519	0,777	0,539	0,858
0,460	0,578	0,480	0,639	0,500	0,707	0,520	0,781	0,540	0,863
0,461	0,581	0,481	0,643	0,501	0,711	0,521	0,785	0,541	0,867
0,462	0,584	0,482	0,646	0,502	0,714	0,522	0,789	0,542	0,871
0,463	0,587	0,483	0,649	0,503	0,718	0,523	0,793	0,543	0,875
0,464	0,590	0,484	0,652	0,504	0,721	0,524	0,797	0,544	0,880
0,465	0,593	0,485	0,656	0,505	0,725	0,525	0,801	0,545	0,884
0,466	0,596	0,486	0,659	0,506	0,729	0,526	0,805	0,546	0,889
0,467	0,599	0,487	0,662	0,507	0,733	0,527	0,809	0,547	0,893
0,468	0,602	0,488	0,666	0,508	0,736	0,528	0,813	0,548	0,898
0,469	0,605	0,489	0,669	0,509	0,739	0,529	0,817	0,549	0,902
0,470	0,608	0,490	0,672	0,510	0,743	0,530	0,821	0,550	0,906

Таблица 5

Температура, °С	Плотность ртути $\rho_{\text{рт}}$, г/см³	Вязкость воздуха, Н·с/м²	$\sqrt{\eta}$	$\sqrt{\frac{1}{\eta}}$
8	13,58	0,00001749	0,01322	75,64
10	13,57	0,00001759	0,01326	75,41
12	13,57	0,00001768	0,01329	75,21
14	13,56	0,00001778	0,01333	75,00
16	13,56	0,00001788	0,01337	74,79
18	13,55	0,00001798	0,01342	74,58
20	13,55	0,00001808	0,01344	74,37
22	13,54	0,00001818	0,01348	74,16
24	13,54	0,00001828	0,01352	73,96
26	13,53	0,00001837	0,01355	73,78
28	13,53	0,00001847	0,01359	73,58
30	13,52	0,00001857	0,01362	73,38
32	13,52	0,00001867	0,01366	73,19
34	13,51	0,00001876	0,01369	73,01

5. Производим опыты и определяем среднее значение времени падения уровня жидкости T. Предположим, что среднее значение $T=64$ с.

6. Производим вычисление величины удельной поверхности испытуемого цемента

$$S_0=A\sqrt{T}=38{,}92\sqrt{64}=311{,}3 \text{ м}^2/\text{кг}.$$

7. Записываем результаты определений по следующей форме: постоянные величины для данной серии опытов: $k=25$; $m=0{,}483$; $\eta=0{,}00001808$ Н·с/м²; $Q=0{,}012$ кг; $\rho=3100$ кг/м³.

Название материала	T, с				$A=\frac{k}{\rho}\sqrt{\frac{m^3}{(1-m)^2}}\sqrt{\frac{1}{\eta}}$	$S_0=A\sqrt{T}$, м²/кг
	1	2	3	среднее		
Портланд-цемент	63	65	64	64	389,2	311,3

2. Определение удельной поверхности прибором ПСХ-2. Способ определения удельной поверхности сыпучих материалов с помощью прибора ПСХ-2 является наиболее простым и поэтому наиболее распространенным. Однако некоторые конструктивные недостатки прибора не позволяют проводить испытание тонкодисперсных порошков. Результаты, получаемые при этом способе, не отличаются высокой точностью, но вполне обеспечивают необходимую в производственных условиях точность при испытании материалов средней степени дисперсности.

Принцип действия прибора основан на зависимости воздухопроницаемости слоя порошка от величины его удельной поверхности.

Схема прибора ПСХ-2 изображена на рис. 41. Прибор состоит из кюветы *6*, плунжера *5*, манометра *1*, крана *3*, резиновой груши *2* и соединенительных стеклянных трубок *4*. Весь прибор помещен в деревянный футляр. Стеклянные части прибора смонтированы на панели, которая крепится к внутренней стенке футляра.

Кювета предназначена для укладки в нее испытуемого материала. Она представляет собой металличе-

скую камеру цилиндрической формы, перегороженную на некоторой высоте металлическим перфорированным диском. Под диском имеется штуцер, посредством которого через резиновую трубку нижняя часть кюветы соединяется с жидкостным манометром. На внешней поверхности кюветы нанесена миллиметровая шкала.

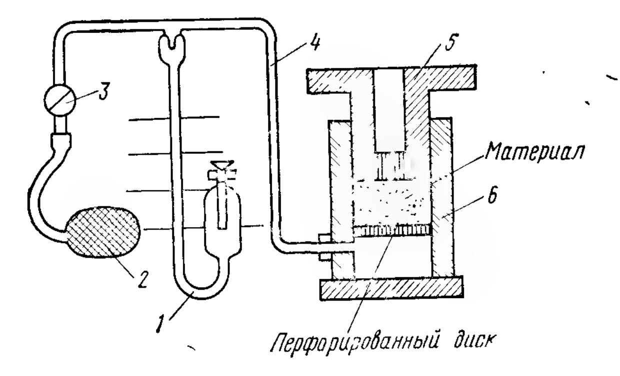


Рис. 41. Схема поверхностномера ПСХ-2

Плунжер, с помощью которого производится уплотнение материала, находящегося в кювете, выполнен в виде цилиндра с упорным диском. В теле плунжера просверлены канал и отверстия для выхода воздуха. Цилиндр подогнан к кювете с просветом не более 0,15 мм. К вырезу упорного диска прикреплена металлическая планка с нониусом, которая вместе со шкалой делений, нанесенной на поверхности кюветы, позволяет измерять толщину слоя испытуемого материала с точностью до 1 мм.

Стеклянный одноколенный манометр длиной около 300 мм заполняется подкрашенной водой. Он предназначен для измерения давления воздуха под слоем испытуемого материала и в сочетании с секундомером дает возможность определять воздухопроницаемость слоя испытуемого материала.

Резиновая груша с клапанами служит для создания разрежения под слоем материала.

В комплект прибора входят секундомер и аптекарские весы с разновесами.

Испытание материала производят следующим образом. Высушивают испытуемый материал до постоянной

массы при температуре 105—110° С и затем охлаждают его до комнатной температуры в эксикаторе. Пробу материала взвешивают с точностью до 0,01 г. Количество (г) материала берут в соответствии с соотношением $P=3{,}33\,\rho$, где ρ — плотность испытуемого материала.

В тех случаях, когда определению подлежит смесь материалов, величина навески

$$P=3{,}33(A\rho_1+B\rho_2+C\rho_3),$$

где A, B и C — количества весовых частей компонентов смеси; ρ_1, ρ_2 и ρ_3 — соответственно значения их плотности, г/см^3.

На перфорированный диск укладывают кружок фильтровальной бумаги и высыпают в кювету испытуемый материал. Постукиванием выравнивают поверхность порошка, накрывают его кружком фильтровальной бумаги и уплотняют порошок с помощью плунжера, нажимая на него рукой.

Пользуясь нониусом на планке плунжера и шкалой на поверхности кюветы, определяют высоту слоя уплотненного материала L.

После удаления плунжера из кюветы открывают кран и с помощью груши создают разрежение под слоем материала. Это разрежение должно быть таким, чтобы жидкость в манометре поднялась до уровня верхней колбочки.

Затем закрывают кран и, пользуясь секундомером, замеряют время, в течение которого мениск жидкости манометра пройдет между двумя соседними рисками (T, с). При быстром опускании столба жидкости замер времени лучше производить во время прохождения мениска жидкости между 3-й и 4-й рисками, а при медленном — между 1-й и 2-й рисками.

В журнал записывают температуру воздуха, при которой производилось определение.

Удельную поверхность испытуемого материала вычисляют

$$S_0=k\,\frac{M\sqrt{T}}{P},$$

где k — постоянная прибора (указывается в паспорте прибора для каждой пары рисок); T — время прохождения мениска жидкости между двумя рисками манометра, с; P — величина навески материала, г; M — величина, зависящая от высоты слоя материала и вязкости воздуха,

$$M=\left[0{,}14\sqrt{120}\,\frac{1}{L}\,(4{,}9L-3{,}33)^{3/2}\sqrt{\frac{1}{\eta}}\right],$$

где L — толщина слоя материала, см.

Для ускорения проведения расчетов составляют таблицы, в которых указывают значение M в зависимости от температуры опыта и толщины слоя испытуемого материала и $\sqrt{T}$ в зависимости от величины T. Обычно такие таблицы имеются в инструкции к прибору.

При проведении опытов необходимо следить за тем, чтобы количество жидкости в манометре было нормальным, т. е. чтобы ее уровень приходился против нижней риски. Уровень жидкости в манометре проверяют при пустой и открытой кювете.

Прибор должен быть герметичным. Для проверки герметичности кювету плотно закрывают резиновой пробкой, создают разрежение в приборе с помощью груши и наблюдают за поведением жидкости в манометре. Если прибор герметичен, то уровень жидкости остается на одном и том же месте.

Так как высота слоя испытуемого материала в значительной степени влияет на правильность результатов испытания, то необходимо проверить точность измерительного устройства. С этой целью в кювету на перфорированный диск укладывают два кружочка фильтровальной бумаги, опускают плунжер в кювету и проверяют точность совпадения нулевых делений нониуса и шкалы. Если имеется какое-либо несовпадение, то его необходимо устранить или учитывать при измерении высоты слоя материала.

Если отсутствует паспорт прибора или в нем нет данных о величине постоянной прибора k, то производят ее определение. Для этого необходимо иметь порошкообразный материал с известной удельной поверхностью. С этим порошком производят такой же опыт, как и при испытании материала с неизвестной удельной поверхностью, и вычисляют постоянную прибора

$$k=S_0P/M\sqrt{T},$$

где S_0 — величина удельной поверхности, известная для данного материала; P, M и T — величины, определяемые при проведении опыта.

Определяя величину T во время прохождения мениска жидкости между рисками 1—2, 3—4, 1—3 и 1—4, вычисляют величины постоянных прибора: k_{1-2}, k_{2-3}, k_{1-3} и k_{1-4}.

Для определения удельной поверхности грубодисперсных порошков (с удельной поверхностью менее 1500 см²/г) следует брать навеску материала, численно равную удесятеренной плотности этого материала, и замерять время падения столба жидкости в манометре между рисками 3 и 4.

Величина M в этом случае определяется по таблице для одной трети измеренной высоты слоя материала, а расчет удельной поверхности производится (см²/г)

$$S_0 = 1{,}73k\frac{M\sqrt{T}}{P}.$$

§ 2. Определение степени распушки асбеста

Качество асбеста определяется рядом показателей его свойств: длиной волокон, содержанием иголок и распушенного асбеста, текстурным показателем, влагосодержанием, средней плотностью, ломкостью волокон. Все эти показатели устанавливают путем технического анализа, проводящегося в соответствии с требованиями ГОСТ 1281—67 на обогатительных фабриках или непосредственно на предприятиях — потребителях асбеста.

Марку и сортность товарного асбеста устанавливают путем проведения ситового анализа, в результате чего определяют длину волокон, количество пыли и гали в асбесте, и определения текстурного показателя, который, по сути дела, выражает степень расщепления волокон асбеста.

В зависимости от длины волокон асбест делится на следующие сорта: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, а по текстурному показателю, представляющему собой объем 100 г асбеста, выраженный в граммах, на три текстурные группы: жесткую, полужесткую и мягкую.

Для изготовления теплоизоляционных материалов используют низкосортный коротковолокнистый асбест (6, 7 и 8-го сортов и реже 5-го сорта).

Обычно партия асбеста, поступающая на завод, снабжается паспортом, в котором указаны все показатели его свойств, поэтому на предприятиях, изготовляющих асбестосодержащие теплоизоляционные материалы, производят лишь некоторые определения, позволяющие уточнить влажность и среднюю плотность асбеста, которые необходимы для правильного составления сырьевых шихт.

Широкое применение асбеста при производстве целого ряда теплоизоляционных материалов (асбестоцементных, асбестотрепельных, асбестомагнезиальных, асбестодоломитовых и т. д.) объясняется его замечательными свойствами, важнейшими из которых являются высокая прочность волокон при разрыве и большая водоудерживающая способность, увеличивающаяся с увеличением удельной поверхности (степени распушки) волокон асбеста. Эти два свойства позволяют значительно повышать прочность изделий за счет армирующего действия волокон асбеста и снижать их среднюю плотность за счет увеличения содержания воды в формовочных массах, в состав которых введен асбест.

Первый этап технологического процесса производства всех асбестосодержащих теплоизоляционных материалов заключается главным образом в распушке асбеста. Чем качественнее произведена распушка асбеста, чем тоньше его волокна, тем выше показатели свойств теплоизоляционного материала, тем меньше расход самого асбеста.

В производственных условиях распушку асбеста производят как сухим, так и мокрым способами. Сухая распушка асбеста осуществляется в молотковых дробилках и дезинтеграторах, а мокрая — в бегунах, голлендерах, быстроходных винтовых мешалках и других аппаратах. Часто распушку производят комбинированно, вначале сухим, а затем мокрым способом. При этом производят контроль степени распушки асбеста. Степень распушки асбеста может быть выражена: а) величиной удельного объема осадка распушенного асбеста, выделенного из водной суспензии (при мокром способе); б) величиной удельной поверхности распушенного асбеста (при сухом способе) и в) тонкостью асбестовых волокон, определяемой путем непосредственного измерения их под микроскопом. Наиболее широкое распространение получил *способ определения степени распушки асбеста по удель-*

ному объему осадка. Этот способ состоит из следующих операций: отбора средней пробы, определения влажности асбеста (одним из ускоренных методов), приготовления 1%-ной водной суспензии асбеста и определения объема осадка, образовавшегося после отстаивания суспензии в течение определенного времени.

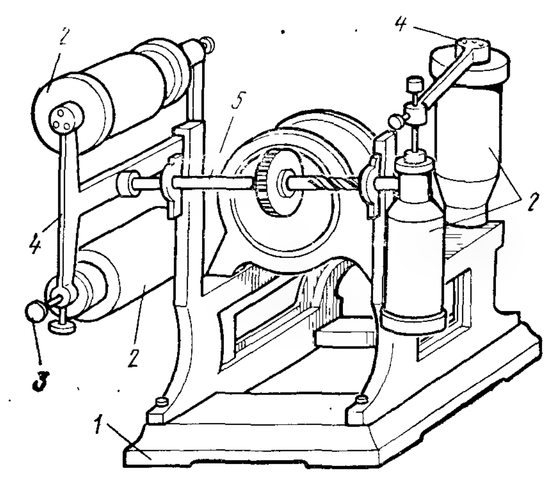


Рис. 42. Взбалтыватель О-21

Степень распушки асбеста определяют по объему стандартно приготовленной суспензии. При определении степени распушки асбеста после обработки его на бегунах измеряют объем осадка в 1 л однопроцентной суспензии после отстаивания в течение 15 мин, а после обработки в голлендере или в быстроходной винтовой мешалке, где распушка асбеста осуществляется гораздо более интенсивно, измеряют объем осадка в 1 л полупроцентной суспензии после ее отстаивания в течение 30 мин. И в том, и в другом случае перед отстаиванием водную суспензию асбеста взбалтывают либо на специальном приборе — взбалтывателе О-21 (рис. 42), либо вручную.

Прибор О-21 для взбалтывания асбестовой суспензии состоит из массивной станины *1*, в подшипниках которой вращается вал *5*, приводящийся во вращение электромотором мощностью 0,25 кВт. На валу с обоих концов наглухо закреплены две крестовины *4*; на каждой из них находится по четыре чашки, из которых две закреплены жестко, а две другие подвижно. Подвижные чашки могут неподвижно закрепляться стопорными винтами *3*. Между каждой парой чашек (неподвижной и подвижной) помещаются стеклянные банки *2* емкостью по 1000 мл. Всего в приборе 4 банки. Крестовины и банки вращаются со скоростью 60 *об/мин*.

Объем банок предварительно калибруют, для чего на наружной поверхности каждой банки по всей ее длине наклеивают полоску миллиметровой бумаги шириной 10 мм. Банки высушивают и взвешивают и, не снимая с чашки весов, периодически добавляют по 50 г дистиллированной воды (при 20° С). При этом каждый раз на полоске бумаги отмечают уровень воды в сосуде. Калибровку банок производят до объема 1000 см³.

Чтобы определить степень распушки асбеста с помощью взбалтывателя О-21, готовят однопроцентную или полупроцентную водную суспензию асбеста в количестве 1000 см³, для чего отвешивают 10 или 5 г сухого асбеста или, зная влажность средней пробы асбеста, навеску его определяют в граммах:

$$B = \frac{10}{100 - W} 100; \quad B = \frac{5}{100 - W} 100.$$

Взятые две навески асбеста помещают в две калиброванные банки прибора и наливают в них воду до отметок, соответствующих объему 1000 см³. Каждую банку плотно закрывают пробкой и закрепляют в гнездах прибора стопорными винтами. Затем включают мотор и взбалтывают суспензию асбеста в течение 5 (после обработки его на бегунах) или 20 мин, если распушка асбеста производилась в голлендоре или винтовой мешалке. После окончания взбалтывания банки вынимают из зажимов прибора и устанавливают на горизонтальную поверхность стола для отстаивания, которое продолжается 15 или 30 мин в зависимости от способа распушки асбеста.

Из двух отсчетов объема осадка (в двух банках) вычисляют его среднее значение и затем определяют степень распушки асбеста (%)

$$A = \frac{V_1}{V} 100,$$

где V_1 — объем осадка асбеста, см³; V — общий объем суспензии, см³.

При отсутствии взбалтывателя О-21 степень распушки асбеста определяют в мерных стеклянных цилиндрах емкостью 1000 см³. Приготовление и взбалтывание суспензии производят следующим образом. Навеску асбеста помещают в фарфоровую чашку, заливают 100 мл воды и размешивают в течение 1 мин стеклянной палочкой с резиновым наконечником, разминая отдельные комочки до получения кашицеобразной массы. Эту массу переносят в мерный цилиндр, в который затем доливают воду до отметки 1000 мл. Закрыв отверстие цилиндра ладонью, попеременно переворачивают его 10 раз на 180°.

После взбалтывания цилиндр ставят на стол и оставляют в покое на 15 или 30 мин в зависимости от примененного метода распушки асбеста, а затем замеряют объем осадка и вычисляют степень распушки асбеста как среднюю величину двух определений.

Полученные результаты записывают в журнал по следующей форме:

№ опыта	Влажность пробы, %	Навеска, г	Объем суспензии, см³	Время отстаивания, мин	Величина осадка, см³	Степень распушки, %
1						
2						
Средний результат . . .						

§ 3. Испытание сырья для получения вспученного перлита

Среди горных пород, используемых для получения теплоизоляционных материалов, все более широкое применение находит вулканическая водосодержащая стекловатая порода перлит.

Особенностью перлита является его способность вспучиваться при термической обработке. Этой особенностью кроме перлита обладают и другие вулканические стекла, известные под различными наименованиями: обсидиан, пехштейн, витрофир и др. Общим свойством всех этих горных пород, определяющим их вспучиваемость, является содержание в них воды, находящейся в различных формах связи с твердым веществом.

При быстром остывании изверженной вулканической лавы часть влаги, содержавшейся в ней в виде пара, превращалась в воду, находящуюся в особом «растворенном» состоянии. Некоторая часть влаги переходила в кристаллизационную воду тех минералов, которые образовывались в остывавшей лаве. В дальнейшем при поверхностной гидратации в породе появлялась гигроскопическая влага.

Главная роль в процессе порообразования при вспучивании перлита и других стекол принадлежит растворенной воде.

Породы, из которых получают вспученный перлит, могут быть плотными, кусковыми, однородными, состоящими из двух, трех и более разновидностей, а также рыхлыми, содержащими до 90% мелкозернистых фракций.

Пригодность сырья для производства вспученного перлита определяется степенью его вспучивания при термической обработке и средней плотностью (насыпной и в куске).

Вспученный перлит должен удовлетворять требованиям ГОСТ 10832—74.

При прокаливании сырья потеря массы не должна превышать 10%, а интервал вспучивания сырья должен быть не менее 50° С. За интервал вспучивания принимают интервал между температурой, при которой получен вспученный материал со средней плотностью в куске менее 1,0 г/см³, и температурой начала оплавления поверхности зерен перлита.

Испытание пригодности сырья для производства вспученного перлита (песка и щебня) сводится к следующим определениям: макроскопическая оценка сырья; отбор проб всех разновидностей сырья, которые содержатся в нем в количестве не менее 20% по массе; определение потери массы при прокаливании (п. п. п.); определение средней плотности природного и вспученного перлита и коэффициента вспучивания породы; определение количества невспучивающейся породы; проведение испытаний на прочность и морозостойкость вспученного перлита.

Отбор и подготовка проб к испытаниям. Отобранную для испытания пробу в количестве не менее 5 кг подвергают внешнему осмотру, для чего высыпают ее в металлический противень и разравнивают. Отдельные круп-

ные куски породы разбивают, осматривают и описывают их макроструктуру (цвет, блеск, характер излома, текстуру, пористость, наличие инородных вкраплений), а также выявляют типичные разновидности породы и определяют их количественное содержание путем ручной сортировки и взвешивания.

Для петрографического анализа отбирают образцы размером не менее 30 мм от всех разновидностей породы, содержание которых в породе составляет не менее 20%. От этих же разновидностей берут пробы в количестве 50—100 г для химического анализа.

После отбора этих образцов всю пробу (за исключением нескольких характерных для нее крупных кусков, которые оставляют на случай контрольного анализа) дробят до крупности кусков 10 мм и рассеивают на ситах с размером ячеек 7 и 10 мм. От фракций 7—10 мм отбирают путем квартования среднюю пробу в количестве 1—2 кг для определения степени вспучиваемости (500 г), средней плотности (100 г) и потерь при прокаливании (50 г).

При наличии в породе мелкозернистого материала отбирают образцы в виде крупных кусков для петрографического анализа, а затем среднюю пробу в количестве 1 кг подвергают рассеву на ситах с размером ячеек 0,5; 3; 7 и 10 мм и определяют гранулометрический состав мелкозернистого материала в данной породе.

Оставшиеся крупные куски материала дробят до крупности 10 мм и смешивают с мелкозернистой фракцией; производят рассев на ситах 0,5 и 10 мм и отбирают пробу от фракций 0,5—10 мм для определения потерь при прокаливании (п. п. п.). Для определения средней плотности и вспучиваемости породы выделяют фракцию 0,5—3 и 7—10 мм в количестве не менее 1 кг каждой фракции.

Подготовленные таким образом пробы породы подвергают испытаниям.

Определение потери массы при прокаливании. В прокаленный и взвешенный фафоровый тигель помещают 1 г измельченной и высушенной до постоянной массы перлитовой породы (взвешивание тигля и породы производят с точностью до 0,01 г). Тигель с породой постепенно нагревают на пламени горелки или в электропечи до температуры 950—1000° С и выдерживают при этой температуре не менее 1 ч. Затем тигель с прокаленным материалом охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Прокаливание повторяют несколько раз, выдерживая материал при максимальной температуре в течение 10 мин. После достижения постоянной массы опыт прекращают и вычисляют величину п. п. п. (%)

$$\text{п. п. п.} = \frac{m_1 - m_2}{m} 100,$$

где m_1 — масса тигля с навеской до прокаливания, г; m_2 — масса тигля с навеской после прокаливания, г; m — масса непрокаленной навески, г.

Для получения более достоверных результатов определение производят на трех навесках и вычисляют величину п. п. п. как среднюю арифметическую по результатам трех определений.

Значение этой величины позволяет судить о количестве растворенной и кристаллизационной воды в данном материале.

В случае необходимости таким же образом определяют потери массы при прокаливании при температуре 300, 500, 600, 700 и 800° С.

Определение коэффициента вспучивания перлитового сырья. Коэффициент вспучивания перлитовой породы является главным качественным показателем сырья. Чем больше значение этого коэффициента, тем меньше средняя плотность вспученного материала, тем лучше его теплофизические свойства.

Величина коэффициента вспучивания зависит от многих факторов, важнейшими из которых являются следующие: количественное содержание в породе растворенной и кристаллизационной воды, приближенно характеризуемое величиной п. п. п., размер обжигаемых кусков материала, режим обжига (его порядок, максимальная продолжительность и температура), применяющиеся для тепловой обработки тепловые аппараты.

Как показали многочисленные исследования и накопленный производственный опыт, определяющим для выбора схемы и параметров обжига является количество воды, содержащейся в породе. Как уже указывалось выше, величина п. п. п. с достаточной точностью характеризует количественное содержание воды в породе, влияющей на ее вспучиваемость. Если величина п. п. п. в той или иной породе превышает 3%, то для получения максимального коэффициента вспучивания и предотвраще-

ния растрескивания кусков породы в процессе их обжига необходимо применять двухстадийную тепловую обработку сырья.

При двухстадийной схеме обжига материал вначале подогревают при температуре 200—400° С для удаления излишней воды, а затем производят быстрый его нагрев до температуры вспучивания.

Обжиг перлитовой породы производят по фракциям в лабораторных печах, обеспечивающих получение рабочей температуры не менее 1350° С.

Для предохранения нагревательных элементов печи от попадания на них кусочков породы, что имеет место при растрескивании частиц материала, в печь помещают тонкостенный керамический муфель. Обжиг образцов производят на гидростойких (например, шамотных) пластинках, играющих роль поддонов.

Навеску фракции 7—10 мм в количестве 10 г с помощью совочка с удлиненной ручкой быстро вносят в печь, предварительно разогретую до заданной температуры. Затем печь закрывают и через определенное время вынимают шамотную пластинку с обожженным материалом.

Обжиг фракций 0,5—3 мм производят на поддонах с бортиками. Величину навески берут обычно в количестве 10 г.

С целью выявления максимальной температуры обжига испытуемого материала производят предварительный обжиг сырья при нескольких температурах: 900, 1000, 1100 и 1200° С. Если обжигаемые породы при этих температурах не вспучиваются или вспучиваются недостаточно, то проводят еще серию опытов, увеличивая температуру обжига до 1350° С.

Продолжительность обжига при вспучивании различных видов вулканических стекол может меняться в широких пределах. Например, продолжительность обжига при вспучивании витрофиров колеблется обычно от 1 до 5 мин, обсидианов — от 20 до 50 мин, а перлитовых стекол — от 20 с до 1 мин. При повышении температуры обжига продолжительность его сокращается.

Оценку вспучиваемости материала производят по величине коэффициента вспучивания, который представляет собой отношение средней плотности породы к средней плотности вспученного материала

$$K_в = \rho_п / \rho_{в.п},$$

где $\rho_п$ — средняя плотность куска породы или насыпная средняя плотность фракций этой породы от 0,5 до 3 мм, г/см³; $\rho_{в\cdot п}$ — средняя плотность вспученного куска или насыпная средняя плотность вспученного перлитового песка, г/см³.

Определение средней плотности кусков материала и насыпной средней плотности мелкозернистого материала производят по методике, приведенной в гл. I, § 4.

За оптимальную принимают температуру, при которой получился наибольший коэффициент вспучивания или наименьшая средняя плотность вспученного материала.

Определение схемы термической обработки и оптимальных параметров обжига. Схему термической обработки перлитовой породы определяют по величине п. п. п. и по результатам предварительного обжига.

Если величина п. п. п. превышает 3%, то термическую обработку породы рекомендуется осуществлять по двухстадийной схеме, в противном случае во время обжига будет происходить растрескивание зерен породы за счет бурного выделения паров воды.

В этом случае определяют оптимальный режим термической обработки (подогрева) и оптимальный режим вспучивания материала.

Для определения режима термической подготовки задаются тремя значениями остаточной воды, отличающимися друг от друга на 1—1,5% (например, 1, 2 и 3%). Путем подогрева материала при различных режимах в интервале температур от 300 до 500° С добиваются удаления из него излишней воды и получения остаточного ее количества в заданных пределах.

Метод удаления части воды заключается в следующем. Навеску породы в количестве 5 г, высушенную до постоянной массы при температуре 105—110° С, помещают в тигель и устанавливают в муфельную печь, предварительно разогретую до заданной температуры. В печи материал выдерживают от 10 до 30 мин. Затем тигель с материалом охлаждают в эксикаторе, взвешивают с точностью до 0,01 г и подсчитывают потерю массы, %

$$\Delta m = \frac{m - m_1}{m - m_2} 100,$$

где m — масса исходной породы с тиглем, г; m_1 — масса породы с тиглем после термической обработки, г; m_2 — масса тигля, г.

Остаточное содержание воды W_1 определяют по разности между величиной п. п. п. для данной породы, определенной ранее, и потерей массы (Δm) после термической обработки W_1=п. п. п. — Δm, %.

Температуру и продолжительность термической подготовки, при которых были достигнуты заданные значения остаточной воды, фиксируют в рабочем журнале.

Определение оптимального режима термической подготовки материала производят на крупной фракции (7—10 мм) или на мелкой (0,5—3 мм).

После получения проб с заданными значениями остаточной воды производят серию опытов по выбору оптимального режима вспучивания породы.

Подбор оптимального режима вспучивания для щебня при двухстадийной схеме термической обработки включает в себя три серии опытов.

1-я серия — выбор оптимального содержания остаточной воды во вспучиваемой породе. Для установления этого параметра берут три навески материала с содержанием воды, отличающимся друг от друга на 1%. Величина каждой навески должна быть примерно 10 г. Обжиг этих трех навесок производят при одинаковой максимальной температуре, значение которой было определено при проведении предварительного обжига, когда производилась оценка вспучиваемости данной породы.

Определяя среднюю плотность вспученного материала, устанавливают оптимальное содержание остаточной воды в данной породе. Кроме определения средней плотности производят визуальное обследование вспученных зерен на трещиноватость. Если на зернах имеются трещины, то остаточную воду в исследуемой породе надо уменьшить.

2-я серия опытов — подбор оптимальной температуры обжига при найденном оптимальном содержании остаточной воды.

Оптимальную температуру обжига определяют следующим образом. Берут пять навесок материалла по 10 г каждая с найденным оптимальным содержанием остаточной воды. Каждую пробу подвергают вспучиванию при пяти различных температурах, отличающихся друг от друга на 50° С. За исходную температуру принимают

ту, при которой во время предварительного обжига были получены лучшие результаты. Продолжительность обжига для всех проб устанавливают одинаковую.

Верхний предел температуры обжига будет тот, при котором начинается оплавление поверхности зерен или увеличивается средняя плотность вспученного материала.

За оптимальную принимают ту температуру вспучивания, при которой была получена наименьшая средняя плотность вспученных образцов.

3-я серия опытов — подбор оптимальной продолжительности обжига. Эту серию опытов проводят на материале с определенным ранее оптимальным содержанием остаточной воды, для этого берут пять навесок испытуемой породы по 10 г, прошедшей предварительную термическую подготовку, и обжигают их при найденной оптимальной температуре. Продолжительность обжига изменяют в пределах определенного интервала, который находят, исходя из типа вулканического стекла.

При подборе оптимальной продолжительности вспучивания перлитовых пород рекомендуется учитывать то обстоятельство, что иногда для получения лучших результатов при уменьшении продолжительности обжига требуется несколько повысить температуру по сравнению с найденной оптимальной температурой.

В данном случае оптимальной продолжительностью обжига считается та, при которой была получена наименьшая средняя плотность вспученных образцов.

Подбор оптимального режима вспучивания перлитового песка. Оптимальный режим вспучивания перлитового песка (фракции 0,5—3 мм) принимают в соответствии с оптимальными параметрами, полученными для щебня (фракции 7—10 мм) из данной породы. Однако верхний предел температуры обжига следует снижать на 30—50° С по сравнению с оптимальной температурой вспучивания щебня.

В данном случае уточнению подлежат лишь два параметра: температура вспучивания и продолжительность вспучивания. Оптимальное содержание остаточной воды в породе принимают то же, что и для щебня.

Обычно при уточнении оптимальной температуры и оптимальной продолжительности вспучивания перлитового песка опыты проводят на трех навесках .

Результаты, полученные при проведении испытания перлитового сырья, рекомендуется записывать по следующей форме:

1. Наименование породы ______
2. Название месторождения ______
3. Место проведения испытаний ______
4. Дата проведения испытаний «____» ______ г.
5. Описание макроструктуры породы ______
6. Результаты определения основных свойств породы:

а) средняя плотность (в куске и насыпная), г/см³ ______

б) гранулометрический состав ______

в) величина п. п. п., % ______

7. Результаты предварительного обжига породы:

№ п/п	Температура обжига, °С	Продолжительность обжига, мин	Наличие трещин	Средняя плотность, г/см³		$K_в$	
				щебня	песка	щебня	песка
1							
2							
. . .							
. . .							

8. Рекомендуемая схема обжига ______
9. Результаты термической подготовки щебня или песка ______

№ п/п	Показатели	№ опыта						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Температура термической подготовки, °С							
2	Продолжительность нагревания, мин							
3	Потеря массы, %							
4	Количество остаточной воды, %							

10. Рекомендуемые три значения остаточной воды ______
11. Результаты определения оптимального содержания остаточной воды ______

№ п/п	Показатели	Номера опытов					
		для щебня			для песка		
		1	2	3	1	2	3
1	Содержание в породе остаточной воды, %						
2	Температура обжига, °С						
3	Продолжительность обжига, мин						
4	Средняя плотность вспученного материала, кг/м³						
5	Коэффициент вспучивания						
6	Наличие трещин на зернах						

Рекомендуемое количество остаточной воды, %.

Примечание. При записи показателей средней плотности над чертой записывают ее значение для материалов в куске, а под чертой — для мелкого сыпучего материала.

12. Результаты определения оптимальной температуры обжига

№ п/п	Показатели	Номера опытов					
		для щебня			для песка		
		1	2	3	1	2	3
1	Температура обжига, °С						
2	Продолжительность обжига, мин						
3	Количество остаточной воды, %						
4	Средняя плотность вспученной породы, кг/м³: а) в куске б) насыпная						
5	Коэффициент вспучивания						

Рекомендуемая температура обжига, °С:
для щебня ______
для песка ______

13. Результаты определения продолжительности обжига

№ п/п	Показатели	Номера опытов							
		для щебня					для песка		
		1	2	3	4	5	1	2	3
1	Продолжительность обжига, мин								
2	Температура обжига, °С								
3	Средняя плотность вспученной породы, кг/м^3: а) в куске б) насыпной								
4	Коэффициент вспучивания								

Рекомендуемая продолжительность обжига, °С:
для щебня ________
для песка ________

Если при испытании сырья выявлена возможность производить его вспучивание по одностадийной схеме, то при определении оптимальных технологических параметров производства исключают опыты по выявлению оптимального содержания остаточной воды в испытуемой породе.

Определение количества невспучивающихся примесей. Некоторые разновидности вулканических стекол содержат в своем составе значительное количество различных примесей, не обладающих способностью вспучиваться при нагревании. Эти примеси в значительной мере снижают качество сырья и вспученного материала, поэтому производят испытание, целью которого является определение количества невспучивающихся примесей и установление целесообразности использования данной породы для производства вспученного перлита. Испытания проводят следующим образом.

Навеску перлита, вспученного по оптимальному режиму, в количестве около 25 г взвешивают с точностью до 0,1 г и высыпают в сосуд с водой. Плавающие частицы материала немедленно извлекают из воды, высушивают до постоянного веса и взвешивают.

Количество невспученных зерен (%)

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100,$$

где m_1 — величина исходной навески вспученного материала, г; m_2 — масса высушенных вспученных частиц, г.

Определение качества вспученного перлита. При определении качества вспученного перлита проводят серию испытаний, в результате которых устанавливают следующие показатели свойств: среднюю плотность (в куске и насыпную), прочность и морозостойкость (для щебня) по методике, изложенной в ГОСТ 9758—77, коэффициент теплопроводности (для песка).

Полученные результаты сравнивают с требованиями ГОСТ 10832—74 «Перлит вспученный» и делают выводы о качестве перлита.

§ 4. Методы оценки структурно-механических свойств формовочных масс

Среди разнообразных видов вязких жидкостей по реологическим * свойствам в стационарном ламинарном потоке выделяют два основных класса жидкостей: 1) ньютоновские с величиной вязкости, не зависящей от действующих на них напряжений сдвига и градиента скоростей деформации; 2) структурированные дисперсные системы, для которых величина вязкости может изменяться в широких пределах в зависимости от действующего напряжения сдвига и градиента скоростей. Такими структурированными системами являются коагуляционные структуры.

Многие теплоизоляционные материалы в процессе их изготовления проходят стадию тестообразного или жидкотекучего (шликерного) состояния, т. е. на определенном технологическом переделе, чаще всего перед формованием, они представляют собой технические концентрированные суспензии или так называемые вязкопластичные системы.

Такие суспензии, как правило, имеют коагуляционные структуры, которые возникают в них под действием ван-дер-ваальсовых сил сцепления коллоидных частиц, уча-

* Реология — наука о деформациях и течении реальных тел.

ствующих в интенсивном броуновском движении, и более крупных частиц, находящихся в суспензии. В таких структурах минеральные частицы непосредственно не соприкасаются друг с другом. Между ними обязательно остаются прослойки жидкой фазы, которые тем тоньше, чем концентрированнее суспензия. Эти прослойки значительно понижают прочность сцепления между частицами твердой фазы, а с другой стороны, обеспечивают возможность восстановления контактов в броуновском движении.

Прослойки жидкой фазы определяют также и относительную подвижность отдельных элементов структуры, т. е. ее пластичность и ползучесть даже при самых малых напряжениях сдвига. При полном развитии адсорбционных пленок и гидратных оболочек структура массы приобретает определенные механические свойства, характеризующиеся структурной прочностью. Однако процесс обработки формовочных масс в ряде случаев протекает в условиях недостаточного количества воды, что определяет неполное развитие гидратных оболочек и отсутствие некоторой части иммобилизованной воды. Это обстоятельство приводит к значительному снижению подвижности системы. В процессе же образования пено- и газомасс требуется повышенная текучесть массы.

С целью увеличения подвижности элементов структуры (уменьшения предельного напряжения сдвига, вязкости, структурной прочности) увеличивают водосодержание масс и вводят добавки ПАВ. Известен и другой более эффективный способ увеличения подвижности структурированных дисперсных систем — механическое воздействие. В процессе механического воздействия происходит тиксотропное разрушение коагуляционной структуры. Благодаря тиксотропности такая структура после прекращения механического воздействия вновь самопроизвольно восстанавливается. Таким механическим воздействием является, в частности, вибрация.

Снижение вязкости суспензии под действием вибрации в основном объясняется разрушением связей между частицами твердой фазы и жидкостью, что увеличивает долю свободной воды в системе. Суть этого механизма состоит в том, что в наиболее устойчивом состоянии образуется тиксотропный гель, в котором вся вода находится в ориентированном и связанном состоянии. Вибрация нарушает это равновесие, ломает структурную решетку и превращает систему в золь-жидкость (большая часть воды оказывается в свободном состоянии).

Кроме того, разрушая структурную решетку, вибрация способствует перераспределению частиц твердой фазы, более рациональной их укладке. Поэтому массы, подвергнутые вибрационной обработке, характеризуются значительно большей структурной прочностью, чем массы, структурирование которых протекало в статических условиях.

Таким образом, коагуляционные структуры, содержащие коллоидные частицы, к которым относится большинство формовочных масс, предназначенных для изготовления теплоизоляционных изделий (ячеистых бетонов, пено- и газокерамики, известковокремнеземистых, перлито- и вермикулитокерамических изделий и т. п.), представляют собой вязкопластичные тела, имеющие предел текучести, а при весьма малых напряжениях сдвига проявляют свойства ползучести с постоянной наибольшей вязкостью (η_0). При повышении напряжения сдвига степень разрушения структуры возрастает и может достичь наибольшей величины (при значениях напряжения сдвига, предельных для данной системы), о чем будет свидетельствовать наименьшая вязкость (η_m), которой в данном случае будет характеризоваться эта система. Наименьшая вязкость предельно разрушенной структуры уже не зависит от величины напряжения сдвига и градиента скоростей в условиях стационарного потока, т. е. при достижении наименьшей вязкости система будет вести себя подобно ньютоновской жидкости.

Вязкость, которая может наблюдаться в зоне $\eta_0 > \eta_э > \eta_m$, носит название эффективной вязкости ($\eta_э$) или вязкости непредельно разрушенной структуры.

Вязкость массы, которой она характеризуется во время вибрации, называется вибрационной вязкостью ($\eta_в$). Вибрационная вязкость, так же как и эффективная вязкость, наблюдается в зоне $\eta_0 > \eta_в > \eta_m$. Эффективность вибрационного воздействия на систему может быть оценена путем сравнения значений $\eta_в$ и η_m. Изменяя параметры вибрации, можно регулировать вибрационную вязкость той или иной формовочной массы, что имеет большое практическое значение.

Изыскание новых и совершенствование старых способов и технологических приемов, позволяющих управлять структурно-механическими свойствами формовочных

масс, т. е. дающих возможность изменять эти свойства в нужном направлении, является одной из наиболее актуальных задач в технологии строительных материалов, над решением которой работают многие исследователи.

Структурно-механические свойства вязкопластичных систем зависят от многих факторов, важнейшими из которых являются следующие: химическая природа веществ, составляющих данную массу, степень развития структуры, степень дисперсности твердых частиц, концентрация суспензии (количество жидкой фазы), взаимодействие диспергированного вещества с дисперсионной средой, температура смеси и т. д.

При производстве теплоизоляционных материалов мы встречаемся часто с такими смесями, в которых непрерывно во времени происходят различные физико-химические процессы, влияющие на структурно-механические свойства этих смесей. Эти процессы протекают иногда относительно быстро (твердение цемента в ячеистом бетоне), а иногда медленно (сушка пенокерамических изделий). Все это в значительной степени усложняет изучение структурно-механических свойств дисперсных вязкопластичных систем и, во всяком случае, должно приниматься во внимание при проведении опыта.

Для оценки структурно-механических свойств формовочных масс, находящихся в тестообразном или шликерном состоянии, существует ряд характеристик. Реологические свойства вязкопластичного тела могут быть охарактеризованы в достаточно полной степени двумя критериями: величиной предельного напряжения сдвига и вязкостью.

Определение реологических характеристик формовочных масс производят с помощью ряда методов и приборов, которые по принципу действия можно разделить на пять типов:

1) капиллярные вискозиметры, основанные на измерении объемной скорости истечения массы (зачастую под определенным давлением) через капилляр заданного диаметра (вискозиметр-воронка типа ВР-3, автоматический капиллярный вискозиметр АКВ-3 и др.);

2) приборы, основанные на измерении скорости всплытия или погружения шарика в исследуемой массе (шариковые вискозиметры системы Десова, Носкова и др.);

3) приборы, основанные на проникновении конуса с определенным углом при вершине под определенной нагрузкой в исследуемую смесь (конические пластометры различных конструкций);

4) приборы, основанные на измерении нагрузки при выдергивании из массы рифленых пластинок или цилиндрических стержней (вискозиметры с продольно смещающимся цилиндром или пластинкой конструкции Воларовича, Толстого, Симоняна и др.);

5) ротационные вискозиметры, основанные на измерении скорости вращения коаксиальных (соосных) цилиндров в исследуемой массе под действием определенной нагрузки (вискозиметры Воларовича типов РВ-4, РВ-7 и др.).

Выбор того или иного прибора для определения реологических характеристик формовочных масс зависит, во-первых, от свойств этих масс и, во-вторых, от условий, при которых производится опыт.

Совершенно очевидно, что определение вязкости массы во время вибрационной обработки удобнее производить приборами первого и второго типов, а в состоянии покоя — приборами третьего, четвертого и пятого типов. Высококонцентрированные суспензии (керамическое тесто) лучше исследовать приборами четвертого типа, а массы, находящиеся в шликерном состоянии, — приборами пятого и иногда второго типов.

Определение пластично-вязких характеристик формовочных масс вискозиметром с продольно смещающимся цилиндром. Вискозиметр с продольно смещающимся цилиндром конструкции М. П. Воларовича (рис. 43) прост в обращении, дает относительно небольшую ошибку при определении величин предельного напряжения сдвига и вязкости (в пределах 3—5%) и может применяться при исследовании большого количества различных смесей. Особенно хорошие результаты этот прибор дает при исследовании высококонцентрированных технических суспензий, характеризующихся значительными величинами вязкости (не менее 5 Н·с/м²).

Методика проведения опытов по определению значений предельного напряжения сдвига и вязкости исследуемых масс с помощью данного прибора заключается в следующем.

Исследуемую массу помещают в цилиндр *8*, который устанавливают и закрепляют в строго вертикальном положении. При этом следят за тем, чтобы в исследуемой массе, находящейся в цилиндре, не было воздушных пус-

тот. После закрепления цилиндра в зажиме *9* в смесь вводят стержень (смещающийся цилиндр) *7*, подвешенный на нити *3*, которая перекинута через блок *4*. На другом конце нити закреплена площадка для груза *5*. Для того чтобы цилиндр *7* входил в исследуемую массу строго вертикально, к штативу прибора крепится направляющее кольцо *6*. Погружение цилиндра в массу производят всегда на одинаковую глубину, в данном случае на 100 мм (рис. 44).

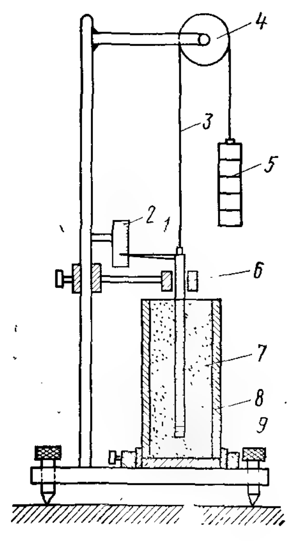


Рис. 43. Вискозиметр с продольно смещающимся цилиндром

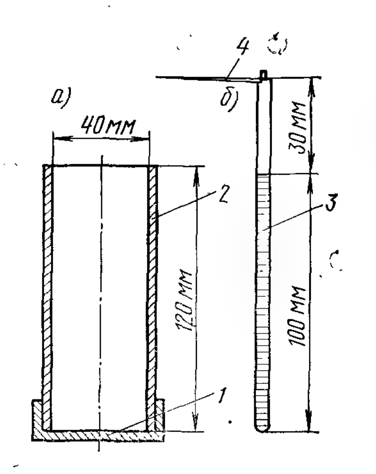


Рис. 44. Основные части вискозиметра:

а — цилиндрический сосуд (*2*) с вывинчивающимся дном (*1*); *б* — цилиндрический стержень (*3*) со стрелкой-указателем (*4*)

После выполнения указанных операций специальными грузами производят нагружение системы и следят за смещением стрелки-указателя *1*, прикрепленной к верхнему концу цилиндра *7* (рис. 43), производят отсчет по шкале *2*, цена делений которой должна быть не более 0,5 мм.

Для повышения точности измерений нагружение системы лучше производить водой, равномерно вливаемой в сосуд, подвешенный к нити, а за смещением стрелки-указателя следить, используя тубус.

Для предотвращения скольжения цилиндра в массе та часть его поверхности, которая погружается в массу, должна иметь мелкую винтовую нарезку.

На рис. 44 показаны размеры и конструкции цилиндрического сосуда и продольно смещающегося цилиндра.

Определение предельного напряжения сдвига формовочной смеси. После подготовки прибора к испытаниям измеряют температуру исследуемой массы и заполняют ею цилиндрический сосуд прибора, который затем закрепляют на подставке прибора зажимом. После введения в массу цилиндрического стержня измеряют высоту части стержня, оставшейся над поверхностью массы, и определяют глубину погружения. Затем с помощью грузов или воды начинают постепенное нагружение системы. Одновременно с этим следят за стрелкой-указателем. По грузу массой P_0, при котором началось равномерное смещение стрелки-указателя вверх, определяют величину предельного напряжения сдвига данной массы Θ. Эта величина представляет собой минимальное напряжение (тангенциальную силу на единицу площади, Па), при котором начинается течение системы по наименьшей из возможных площадей сдвига (в данном случае по поверхности, прилегающей к поверхности цилиндрического стержня):

$$\Theta = \frac{P_0 g}{2\pi r_1 h} = C_1 P_0,$$

где P_0 — масса груза, вызвавшего течение системы, кг; g — ускорение силы тяжести, м/с^2; h — глубина погружения цилиндра в массу, м; r_1 — радиус продольного смещения цилиндра, м; C_1 — постоянная прибора ($C_1 = g/2\pi r_1 h$).

При определении выдергивающего усилия необходимо учитывать трение, возникающее при вращении блока прибора, а также величину груза, уравновешивающего продольно смещающийся цилиндр.

Так как структурно-механические характеристики формовочных масс зависят от их температуры, влажности, качества смешивания, времени, прошедшего с момента затворения их водой, то при повторных опытах, которые проводят для получения более достоверных результатов и определения средней величины предельного напряжения сдвига, необходимо стремиться к возможно полному воссозданию всех этих параметров. В против-

ном случае хорошей сходимости результатов получить не удается. Определение величины *вязкости* производят по скорости смещения цилиндра под действием какого-либо груза с массой P, превышающей P_0. При этом прежде всего необходимо установить, распространяется ли при данной нагрузке сдвиг до стенки цилиндрического сосуда. Обычно распространение сдвига до поверхности цилиндрического сосуда происходит только при очень больших скоростях смещения цилиндрического стержня, т. е. при грузе, масса которого (P') значительно превышает массу P_0.

Эту критическую массу можно вычислить по формуле (кг)

$$P' = \frac{2\pi r_1 h\theta}{g},$$

где r_2 — расстояние от поверхности продольно смещающегося цилиндра до поверхности цилиндрического сосуда, м.

При грузах, масса которых меньше критической ($P<P'$), величину вязкости формовочных масс определяют (Па·с)

$$\eta = \frac{r_1\theta}{v}\left(\frac{P}{P_0}\ln\frac{P}{P_0} + 1 - \frac{P}{P_0}\right).$$

Если же сдвиг распространяется до поверхности цилиндрического сосуда, т. е. если $P>P'$, то величину вязкости испытываемой смеси надо определять (Па·с)

$$\eta = \frac{Pg\ln\frac{r_2}{r_1}}{2\pi hv} - \frac{\theta}{v}(r_2 - r_1).$$

Однако надо учитывать, что большинство формовочных смесей обладают тиксотропией, т. е. они изменяют свои структурно-механические свойства при приложении к ним внешних усилий. Структура их при этом разрушается тем более, чем большее усилие к ним приложено, поэтому создание высоких скоростей цилиндрического стержня при его выдергивании из массы нежелательно, так как при этом происходит локальное разрушение структуры массы и получаемые значения вязкости могут быть в значительной степени искажены.

Учитывая это обстоятельство, лучше пользоваться грузами, масса которых не превышает критическую величину P'.

Обычно в расчетах не принимают во внимание изменение поверхности цилиндрического стержня, которое имеет место при его выдергивании из массы. Однако, чтобы избежать значительной ошибки, необходимо производить измерение скорости движения цилиндра на небольшом отрезке его пути, равном примерно 2—4 мм. В этом случае ошибка составит всего 1—2%. На таком сравнительно небольшом отрезке пути скорость с достаточной точностью удается измерить при небольших грузах и медленном движении цилиндра (со скоростью не более 0,0025 м/с).

Определение величины вязкости формовочных масс с помощью рассматриваемого прибора производят следующим образом.

Подготовленные сырьевые материалы затворяют водой и производят смешивание компонентов до достижения однородного состояния массы, пользуясь лабораторной мешалкой. Замечают время затворения массы водой и фиксируют его в рабочем журнале. Затем ртутным термометром определяют температуру смеси и заполняют этой смесью цилиндрический сосуд прибора. Количество приготавливаемой для опыта смеси зависит от емкости цилиндрического сосуда, который должен заполняться смесью до краев. Металлической линейкой или шпателем выравнивают поверхность массы и закрепляют цилиндрический сосуд на подставке прибора. Затем строго вертикально вводят в испытуемую массу цилиндрический стержень на глубину 10 см. В строго определенное время, считая от момента затворения смеси водой, производят нагружение системы с помощью воды или специальных грузов. При этом масса груза (P) должна быть несколько больше массы P_0, при которой начинается течение системы, но не превышать массу P' критического груза. При этом величину P' рассчитывают сразу же после определения величины предельного напряжения сдвига данной смеси.

Наблюдая за движением стрелки-указателя, с помощью секундомера засекают время, за которое стрелка пройдет отрезок пути, равный 3—4 мм. Зная величину пути и время, определяют скорость движения цилиндра

в испытуемой смеси (м/с) под действием груза, масса которого составляет величину P:

$$v=S/t.$$

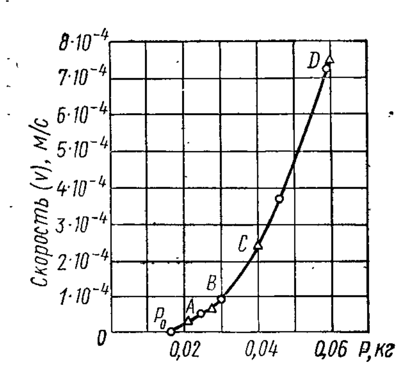


Рис. 45. График зависимости скорости смещения цилиндра от массы груза P

Опыт проводят на 4—5 замесах, изменяя массу груза (несколько увеличивая ее). По полученным результатам строят кривую зависимости скорости движения цилиндра от прилагаемого груза. На построенной кривой произвольно выбирают 3—4 точки, графически определяют для этих точек значения v и P (рис. 45) и для каждой точки производят вычисление величины вязкости

$$\eta=\frac{r_1\Theta}{v}\left(\frac{P}{P_0}\ln\frac{P}{P_0}+1-\frac{P}{P_0}\right).$$

Величину вязкости исследуемой массы определяют как среднюю арифметическую по результатам 3—4 вычислений.

Для удобства пользования формулой и ускорения проведения вычислений можно составить таблицу функции P/P_0, для чего удобно ввести следующее обозначение:

$$F\left(\frac{P}{P_0}\right)=\left(\frac{P}{P_0}\ln\frac{P}{P_0}+1-\frac{P}{P_0}\right).$$

После этого формула примет вид

$$\eta=\frac{r_1\Theta}{v}F\left(\frac{P}{P_0}\right).$$

Пользование табл. 6 дает возможность быстро производить вычисления по полученным данным:

$$F\left(\frac{P}{P_0}\right)=\left(\frac{P}{P_0}\ln\frac{P}{P_0}+1-\frac{P}{P_0}\right).$$

Пример. Требуется определить значения предельного напряжения сдвига (Θ) и вязкости (η) диатомитовой

Таблица 6

P/P_0	$F(P/P_0)$	P/P_0	$F(P/P_0)$	P/P_0	$F(P/P_0)$	P/P_0	$F(P/P_0)$
1,05	0,0012	2,2	0,5326	5,5	4,866	9,5	12,860
1,1	0,0047	2,5	0,7882	6,0	5,738	10,0	14,00
1,2	0,0185	3,0	1,292	6,5	6,653	—	—
1,3	0,0407	3,5	1,879	7,0	7,606	—	—
1,4	0,0705	4,0	2,539	7,5	8,595	—	—
1,5	0,1075	4,2	2,821	8,0	9,617	—	—
1,7	0,2011	4,5	3,261	8,5	10,670	—	—
2,0	0,3847	5,0	4,038	9,0	11,750	—	—

массы, влажность которой равна 110%. Для приготовления массы используется диатомит Инзенского месторождения. По технологическим соображениям необходимо, чтобы температура смеси была в пределах 20—21° С, а измерение вязкопластических характеристик производилось через 10 мин после затворения смеси водой.

1. Определяем величину предельного напряжения сдвига. После приготовления диатомитовой массы и укладки ее в цилиндрический сосуд прибора вводим в эту смесь продольно смешающийся цилиндр и производим постепенное нагружение системы с помощью воды или специальных грузов. Устанавливаем, что цилиндр начал двигаться вверх с равномерной скоростью после того, как масса груза достигла 0,03295 кг. Следовательно, $P_0=0{,}03295-(0{,}0005+0{,}0145)=0{,}01795$ кг.

Здесь 0,0005 кг — величина массы груза, соответствующая величине трения в блоке прибора; 0,0145 кг — масса груза, уравновешивающая систему.

Определяем постоянную прибора

$$C_1=9{,}81/2\pi\cdot0{,}00345\cdot0{,}1=4527,$$

где 0,1 — глубина погружения смещающегося цилиндра, м; 0,00345 — радиус смещающегося цилиндра, м.

Величина предельного напряжения сдвига исследуемой массы при температуре 20° С через 10 мин после затворения диатомита водой будет равна: $\Theta=C_1P_0=4527\cdot0{,}01795=82$ Па.

Повторяем опыт три раза и производим соответствующие вычисления, после чего устанавливаем среднюю

величину предельного напряжения сдвига. Допустим, что $P_{0\,ср}=0{,}0179$ кг, тогда $\Theta_{ср}=81{,}8$ Па.

2. Определяем величину пластической вязкости смеси. Соблюдая все технологические параметры, принятые при определении величины предельного напряжения сдвига, производим приготовление массы и укладку ее в цилиндрический сосуд прибора. Предварительно определив величину критической массы груза (P'), производим испытание:

$$P'=\frac{2\pi r_2 h\Theta}{g}=\frac{2\pi\cdot 0{,}02\cdot 0{,}1\cdot 81{,}8}{9{,}81}=0{,}104 \text{ кг}.$$

Следовательно, нагружение системы при определении скорости движения продольно смещающегося цилиндра надо производить грузами, масса которых находится в пределах от 18 до 104 г. Принимаем $P_1=25$ г; $P_2=30$ г; $P_3=40$ г; $P_4=60$ г. Последовательно приготавливаем четыре замеса и производим испытания, нагружая систему поочередно грузами с такими значениями массы. При этом учитываем трение в блоке прибора и массу груза, уравновешивающую всю систему, т. е. масса грузов P_1, P_2, P_3 и P_4 должна быть увеличена на 15 г.

Пользуясь секундомером, засекаем в каждом отдельном случае время, за которое стрелка-указатель проходит путь, равный 3 мм (шесть делений шкалы), и затем вычисляем скорость движения цилиндра для каждого из четырех грузов. Для удобства вычислений результаты наблюдений рекомендуется записывать по следующей форме:

№ замеса	Масса груза, кг	Время, с	Путь, м	Скорость, м/с	Температура смеси °С
1	0,025	93,75	0,003	0,000032	20,3
2	0,030	30,00	0,003	0,0001	19,8
3	0,045	7,88	0,003	0,00038	20,1
4	0,60	3,96	0,003	0,000758	20,2

По полученным результатам строим график зависимости скорости смещения цилиндра от величины массы груза P (см. рис. 45), а затем, выбрав на кривой три-четыре произвольные точки, определяем для них графически величины скорости смещения цилиндра и массы груза P. По этим данным производим вычисление значений вязкости массы.

Допустим, что выбраны четыре точки — A, B, C и D. Определив для этих точек значения v и P и пользуясь табл. 6, производим необходимые вычисления и определяем для каждой точки величину пластической вязкости. По четырем полученным значениям вычисляем среднюю величину вязкости исследуемой массы.

Для удобства расчетов запись результатов рекомендуется производить в виде таблицы по следующей форме:

Точки на кривой	Θ Н/м²	P, кг	P/P_0	$F(P/P_0)$	Скорость, м/с	Вязкость, Н·с/м²
A	81,8	0,024	1,34	0,054	0,000024	630
Б	81,8	0,028	1,56	0,1353	0,000057	637
C	81,8	0,40	2,23	0,5581	0,000249	632
D	81,8	0,60	3,35	1,7027	0,000758	634

$\eta_{ср}=633$ Н·с/м²

Совершенно аналогично производят измерения значений предельного напряжения сдвига и вязкости на приборе с продольно смещающейся рифленой пластинкой.

Определение пластично-вязких характеристик формовочных масс ротационным вискозиметром РВ-4. Ротационный вискозиметр типа РВ-4 служит для исследования реологических свойств дисперсных систем типа высококонцентрированных суспензий и паст при комнатной температуре. Этот прибор позволяет производить измерение вязкости масс в пределах от 0,1 до 10^4 Н·с/м² и предельного напряжения сдвига от 5^{-5} до 10^4 Н/м².

Схема прибора показана на рис. 46. Неподвижный цилиндр *7* расположен внутри полого цилиндра *8*, в который помещается исследуемая смесь. Цилиндр приводится во вращение с помощью грузов, прикрепленных к концам нити, перекинутой через блоки *11* и намотанной на барабан *10*, ось которого совпадает с осью вращения всей системы. Внутренний неподвижный цилиндр имеет рифленую поверхность, что исключает возможность скольжения исследуемой массы по поверхности цилиндра. По-

верхность внешнего цилиндра гладкая, так как напряжение на его поверхности всегда значительно меньше, чем на поверхности внутреннего цилиндра, и скольжение массы по поверхности внешнего цилиндра никогда не наблюдается. Пуск и остановка прибора осуществляются с помощью тормозного устройства *1*.

При работе с вискозиметром необходимо следить за его правильной установкой. Ось вращения системы должна находиться в строго вертикальном положении. Сам прибор устанавливают на высоте 1,3—1,5 м от пола

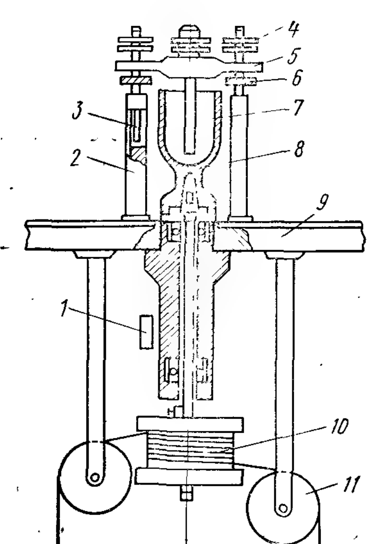


Рис. 46. Ротационный вискозиметр РВ-4

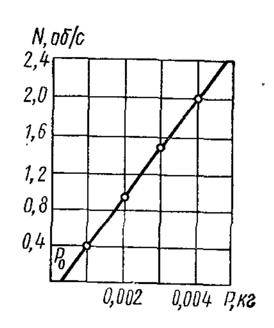


Рис. 47. Кривая трения подшипников

с тем, чтобы барабан успел сделать достаточное число оборотов до того, как грузы, находящиеся на концах нити, коснутся пола. Для этого рекомендуется укрепить на кронштейне доску с вырезом в ее центральной части, на которую установить плиту *9*, служащую основанием прибора. Нижняя часть прибора (блоки, барабан и др.) должна проходить через отверстие в доске и располагаться ниже ее поверхности.

Перед началом опыта необходимо произвести центрирование прибора, т. е. добиться совмещения оси внутреннего цилиндра с осью вращения системы. Для центрирования прибора в комплекте имеется специальный цилиндр с отверстием. Этот цилиндр плотно входит внутрь внешнего цилиндра прибора, а его внутреннее отверстие

такого диаметра, что в него плотно вставляется неподвижный цилиндр *7*.

При центрировании прибора полый направляющий цилиндр помещают внутрь подвижного цилиндра *8*, а затем в направляющее отверстие вставляют цилиндр *7*, укрепленный в центрирующем тройнике *5*. При этом гайки *6* и *4*, с помощью которых осуществляется крепление цилиндра на стойках *3*, входящих в центрирующие стойки прибора *2*, должны быть ослаблены. После того как цилиндр *7* вставлен в отверстие направляющего цилиндра, гайки *6* и *4* постепенно затягивают. Если после того, как гайки затянуты и внутренний цилиндр вместе со стойками *3* и центрирующим тройником *5* можно свободно вынуть из направляющего цилиндра, то систему можно считать отцентрированной. Если же не удается легко вынуть неподвижный цилиндр, то необходимо ослабить крепящие гайки и снова их затянуть. Эту операцию надо повторять до тех пор, пока не удастся свободно перемещать внутренний цилиндр прибора в направляющем отверстии полого цилиндра при закрепленных гайках.

Перед началом работы с прибором РВ-4 необходимо построить кривую трения подшипников, которая устанавливает зависимость между числом оборотов внешнего цилиндра прибора и нагрузкой для случая, когда вискозиметр не заполнен исследуемой массой.

Чтобы построить кривую трения, на концы нити помещают небольшие грузы массой 0,5—1,0 г, которые приводят систему во вращение. Пустив прибор, определяют угловую скорость вращения системы при данной массе грузов. Определение скорости вращения производят при нескольких значениях грузов (обычно максимальная масса груза не превышает 4—5 г) и по полученным результатам строят кривую трения подшипников (рис. 47), которая используется при определении реологических характеристик формовочных масс.

Известно, что если пространство между цилиндрами прибора РВ-4 заполнено пластично-вязкой средой, то при малых значениях грузов, хотя и превышающих силу трения подшипников, вращение внешнего цилиндра происходить не будет. Движение системы начнется только тогда, когда величина действующей силы F_0 будет достаточна для преодоления предельного напряжения сдвига данной массы на некоторой поверхности S_0, которая в данном случае будет равна поверхности внутреннего

неподвижного цилиндра прибора. При этом будет иметь место следующее уравнение: $F_0=\Theta S_0$.

Для того чтобы определить величину предельного напряжения сдвига исследуемой массы, надо экспериментально найти величину P_0 (массу груза, кг), соответствующую началу вращения внешнего цилиндра прибора, а также вычислить константу прибора

$$K_0=\frac{Rg}{2\pi r^2 h},$$

где R — радиус барабана, м; r — радиус внутреннего цилиндра, м; h — глубина погружения внутреннего цилиндра в исследуемую массу, м; g — ускорение силы тяжести, м/с².

Зная эти величины, получаем значение предельного напряжения $\Theta=K_0P_0$, Н/м².

При определении значения вязкости той или иной дисперсной системы могут встретиться два случая, при которых следует применять различные формулы для вычислений.

1-й случай. Если величина груза, приводившего систему во вращение с некоторой угловой скоростью, не очень велика, то сдвиг испытывала не вся масса, находившаяся в пространстве между цилиндрами, а только ряд слоев, прилегавших к поверхности внутреннего цилиндра. Остальные слои массы вращались с внешним цилиндром как одно целое. В этом случае сдвиг не распространялся до конца, т. е. по всей толще массы. При таких условиях проведения опыта значение вязкости (Н·с/м²)

$$\eta=\frac{\theta}{4\pi N}\left(\frac{P}{P_0}-1-\ln\frac{P}{P_0}\right),$$

где Θ — предельное напряжение сдвига, Н/м²; N — частота вращения цилиндра, с⁻¹; P — масса груза, приводящего систему в движение, кг; P_0 — минимальная масса груза, приводящего систему к началу движения, кг.

2-й случай. При постепенном увеличении массы груза P сдвиг будет распространяться на все большее число слоев исследуемой смеси и, наконец, при достаточно большом значении массы этого груза будет наблюдаться по всей толще смеси. Это значит, что слой, прилегающий к поверхности неподвижного цилиндра, остается все время в покое, а частота вращения всех остальных слоев по мере приближения к поверхности внешнего вращающегося

цилиндра все время увеличивается. Слой, непосредственно прилегающий к поверхности внешнего цилиндра, вращается со скоростью самого цилиндра. В этом случае вычисление значения вязкости исследуемой смеси производят по следующей формуле (Н·с/м²):

$$\eta=\frac{1}{N}(K_1P-K_2\Theta),$$

где

$$K_1=\frac{gR\left(r_1^2-r_2^2\right)}{8\pi^2r_1^2r_2^2h};\quad K_2=\frac{\ln\frac{r_2}{r_1}}{2\pi},$$

где R — радиус барабана, м; r_1 — радиус внутреннего цилиндра, м; r_2 — радиус внешнего цилиндра, м; h — глубина погружения внутреннего цилиндра в исследуемую среду, м; g — ускорение силы тяжести, м/с²; N — частота вращения системы, с⁻¹; Θ — величина предельного напряжения сдвига, Н/м².

Для решения вопроса, какой из приведенных выше формул пользоваться, необходимо в каждом отдельном случае предварительно вычислить то минимальное значение массы груза P, при котором сдвиг может распространиться до конца:

$$P'=K\Theta,$$

где $K=2\pi r_2^2h/gR$ — вторая константа прибора.

Рассмотрим теперь методику проведения эксперимента.

Определение *предельного напряжения сдвига.* При определении значения Θ дисперсная масса для исключения тиксотропии предварительно тщательно смешивается, после чего помещается во внешний цилиндр. Затем этот цилиндр укрепляют на оси вращения прибора и погружают в массу внутренний цилиндр. Часть исследуемой массы, вытесненную при введении в нее внутреннего цилиндра прибора, удаляют и поверхность ее выравнивают вровень с краями внешнего цилиндра.

Опыт начинают с постепенного нагружения системы. При этом сначала подвешивают на концы нити очень маленькие грузы, немного превышающие силу трения подшипников. Затем, постепенно увеличивая нагрузку, стремятся возможно точнее определить тот минимальный груз

$P_{мин}$, при котором система приходит в движение. В найденное таким образом значение $P_{мин}$ необходимо внести поправку на трение подшипников прибора. Для этого пользуются кривой трения подшипников (см. рис. 46). Величина груза находится на пересечении кривой с осью абсцисс (точка P_0'). Определенное таким образом значение массы груза P_0 вычитают из значения $P_{мин}$, найденного в результате проведения опыта. Полученное в результате вычитания значение P_0 подставляют в форму-

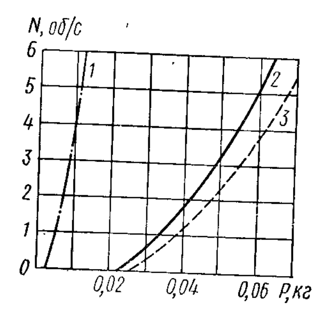


Рис. 48. Типичная кривая зависимости скорости вращения цилиндра от величины груза P для пластично-вязкой системы

лу $\Theta = K_0 P_0$ и вычисляют величину определенного напряжения сдвига исследуемой массы.

Определение значения вязкости. Для определения величины η какой-либо дисперсной системы после операций по заполнению вращающегося цилиндра исследуемой массой и сборки прибора приводят во вращение внешний цилиндр, используя грузы, превышающие величину $P_{мин}$. Изменяя скорость вращения внешнего цилиндра при различных грузах, строят кривую зависимости угловой скорости от величины груза. Для этого откладывают по оси абсцисс величины массы грузов P (кг), а по оси ординат — число оборотов внешнего цилиндра N ($с^{-1}$) (рис. 48, кривая *3*).

Прежде чем пользоваться построенным графиком для определения величины вязкости, следует внести в него поправку на трение подшипников. Для этого используют найденную ранее кривую трения подшипников для данного прибора (кривая *1*), выражающую зависимость угловой скорости вращения внешнего цилиндра от нагрузки при отсутствии в приборе исследуемой массы. Обычно эта зависимость выражается прямой линией, наклонной к оси абсцисс и пересекающей ее в некоторой точке.

Для введения поправки на трение необходимо для каждого найденного экспериментального значения N найти угловую скорость цилиндра на кривой трения и уменьшить величину каждого груза, соответствующего этим значениям N на $P_{тр}$ при данной угловой скорости вращения цилиндра. Обычно это делается графически, как показано на рис. 48. Кривая *2*, полученная в результате проделанной операции, может быть использована для вычисления величины вязкости.

Для того чтобы решить, какой из формул пользоваться при вычислениях, необходимо вначале определить минимальный груз P', при котором сдвиг в исследуемой массе распространится до конца. Если во время опыта применялись грузы, превышающие значение P', то расчет производят, пользуясь формулой, приведенной во втором случае; если же грузы были меньше P', то величину η вычисляют так, как указано в первом случае.

Обычно определение критического груза P' производят перед началом опыта и затем, проводя эксперимент, нагружают систему грузами, не превышающими значение P'.

При таком проведении эксперимента результаты по определению вязкости неразрушенной системы получают более точные, так как в этом случае в большей степени исключается влияние тиксотропии.

Для получения более достоверных результатов при расчетах не следует ограничиваться одной точкой на кривой $N = f(P)$.

Обычно рекомендуется производить вычисление 3—5 раз по 3—5 точкам, взятым произвольно, на кривой $N = f(P)$ и определять среднее значение вязкости.

С целью упрощения расчетов формулу, по которой вычисляют величину вязкости для одной точки, можно преобразовать следующим образом:

$$\eta = \frac{\Theta}{4\pi N}\left(P/P_0 - 1 - \ln\frac{P}{P_0}\right)$$

или

$$\eta = \frac{\Theta}{N} f(P/P_0),$$

где

$$f(P/P_0) = \frac{1}{4\pi}\left(P/P_0 - 1 - \ln\frac{P}{P_0}\right).$$

Если для каждого значения $f(P/P_0)$ вычислить величину $\frac{1}{4\pi}\left(P/P_0 - 1 - \ln\frac{P}{P_0}\right)$ и составить таблицу этих

значений, то определение величины вязкости для каждой точки на кривой $N = f(P)$ сведется к следующему.

На кривой $N = f(P)$ выбирают несколько точек, находят для каждой из них значения N и P, а также отношения P/P_0 и по табл. 7 определяют соответствующие значения функции $f(P/P_0)$. Далее, зная найденную ранее величину Θ, легко подсчитывают по упрощенной формуле для каждой из выбранных точек значения η.

Таблица 7

Значения $f(P/P_0)$ в зависимости от величины P/P_0

P/P_0	$F(P/P_0)$	P/P_0	$F(P/P_0)$	P/P_0	$F(P/P_0)$	P/P_0	$F(P/P_0)$
1,1	0,000903	2,3	0,03716	3,5	0,09923	5,8	0,24305
1,2	0,00140	2,4	0,04174	3,6	0,10494	6,0	0,25527
1,3	0,00299	2,5	0,04644	3,7	0,11072	6,3	0,27614
1,4	0,00505	2,6	0,05139	3,8	0,11636	7,0	0,32258
1,5	0,00752	2,7	0,05623	3,9	0,12245	7,5	0,35710
1,6	0,01034	2,8	0,06131	4,0	0,12939	8,0	0,39153
1,7	0,01348	2,9	0,06645	4,3	0,14661	9,0	0,46174
1,8	0,01688	3,0	0,07173	4,6	0,16501	10,0	0,53292
1,9	0,02054	3,1	0,07706	4,8	0,18082	11,0	0,60524
2,0	0,02441	3,2	0,08249	5,0	0,19021	12,0	0,67757
2,1	0,02849	3,3	0,08801	5,2	0,20306	13,0	0,83254
2,2	0,03275	3,4	0,09358	5,4	0,21592	14,0	0,90502
—	—	—	—	—	—	15,0	0,97750

Пример расчета Θ и η. Требуется определить Θ и η гипново-топяного торфа 30%-ной степени разложения и 80%-ной влажности.

Во-первых, определяем константы вискозиметра. Предположим, что вискозиметр РВ-4 имеет следующие конструктивные характеристики: радиус барабана $R = 0{,}022$ м; радиус внутреннего неподвижного цилиндра $r_1 = 0{,}005$ м; радиус внешнего вращающегося цилиндра $r_2 = 0{,}02$; глубина погружения внутреннего цилиндра $h = 0{,}05$ м.

Подсчитываем константу K_0:

$$K_0 = \frac{gR}{2\pi r_1^2 h} = \frac{9{,}81 \cdot 0{,}022}{2 \cdot 3{,}14 (0{,}005)^2 \, 0{,}05} = 27\,500 \ 1/\text{м} \cdot \text{с}^2.$$

Значение константы

$$K = \frac{2\pi r_2^2 h}{gR} = \frac{2 \cdot 3{,}14 \, (0{,}02)^2 \, 0{,}05}{9{,}81 \cdot 0{,}022} = 0{,}0006 \ \text{м} \cdot \text{с}^2.$$

Во-вторых, определяем значение предельного напряжения сдвига. Допустим, что среднее минимальное значение массы груза, приводящего систему в движение, с учетом поправки на трение подшипников прибора составляет 0,03 кг, т. е. $P_0 = 0{,}03$ кг. Тогда $\Theta = K_0 P_0 = 27500 \times \times 0{,}03 = 825$ Н/м².

В-третьих, подсчитываем критическое значение массы груза P', при котором сдвиг слоев исследуемой смеси распространится до конца.

Для определения P' пользуемся соответствующей формулой $P' = K\theta$, т. е. $P' = = 0{,}0006 \cdot 825 = 0{,}495$ кг.

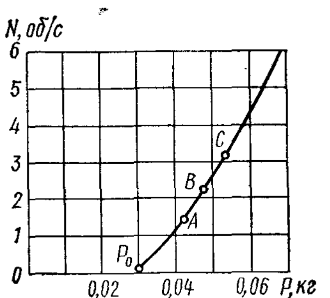


Рис. 49. Кривая зависимости скорости вращения цилиндра от величины массы груза P для гипново-топяного торфа с влажностью 83% и степенью разложения 30%

В-четвертых, производим определение значения вязкости. Допустим, что, проводя опыт, мы пользовались грузами, масса каждого из которых значительно меньше P'. В этом случае расчет η производим по следующей формуле:

$$\eta = \frac{\theta}{N} \, f\left(\frac{P}{P_0}\right).$$

На построенной с учетом трения подшипников кривой (рис. 49) выбираем три точки — A, B и C. Находим для этих точек соответствующие значения P и N. Затем определяем для каждой точки величины P/P_0 и, пользуясь табл. 7, производим необходимые расчеты.

Для удобства проведения расчетов рекомендуется следующая форма записи результатов:

Точки на кривой	P_0 ·0,04 кг		θ=825 Па	
	P/P_0	P/P_0 (из табл.)	θ/N	η, Па·с
A	0,044:0,03=1,47	0,0063	825:1,5=650	550·0,0063=3,465
Б	0,048:0,03=1,6	0,0103	825:2,2=375	375·0,0103=3,863
C	0,058:0,03=1,73	0,0145	825:3,2=258	258·0,0145=3,741

Среднее значение η = 3,69 Н·с/м²

Определение предельного напряжения сдвига формовочных масс коническим пластометром конструкции МГУ. Данный способ определения предельного напряжения сдвига пластично-вязких дисперсных систем, разработанный под руководством П. А. Ребиндера, отличается простотой и удобством проведения опытов.

Способ основан на определении нагрузки, необходимой для погружения металлического конуса с заданным углом при вершине в исследуемую массу на постоянную глубину (обычно на 5 мм). Возможность применения этого способа для исследования реологических свойств дисперсных систем установлена путем обширных экспериментальных исследований на разнообразных материалах. Однако следует указать, что по данным некоторых исследователей (А. П. Меркина, И. М. Горьковой) величина предельного напряжения сдвига, определенная с помощью конического пластометра, соответствует истинному значению лишь в случае исследования достаточно жидких дисперсных систем. При исследовании более жестких смесей имеет место деформация смятия, которая приводит к закономерному завышению значений предельного напряжения сдвига.

Схема конического пластометра МГУ показана на рис. 50.

Методика измерения величины Θ заключается в следующем. Подготовленную к испытанию массу помещают в специальную чашку с внутренним диаметром 10 см. Поверхность массы заглаживают и выравнивают вровень с краями чашки. Чашку с массой устанавливают на подъемный столик *13* прибора. Предварительно рычаг прибора *3* устанавливают в горизонтальное положение путем перемещения противовеса *9*. Затем поднимают столик на такую высоту, чтобы острие конуса *12* касалось поверхности массы. Нагружение системы осуществляют следующим образом. Из большого сосуда *1* в сосуд для нагружения *2* постепенно наливают воду, в результате чего равновесие рычага нарушается и нагрузка передается на конус, который начинает погружаться в исследуемую массу. За глубиной погружения конуса следят при помощи индикатора *8*.

При достижении заданной глубины погружения конуса (5 мм) нагружение системы прекращают и фиксируют нагрузку, созданную водой на конус, Н.

Предельное напряжение сдвига исследуемой массы рассчитывается при медленном погружении конуса как слагающая нагрузка на конус H, направленная вдоль погруженной поверхности конуса (Н/м²):

$$\Theta = \frac{H \cos \frac{\varphi}{2}}{S},$$

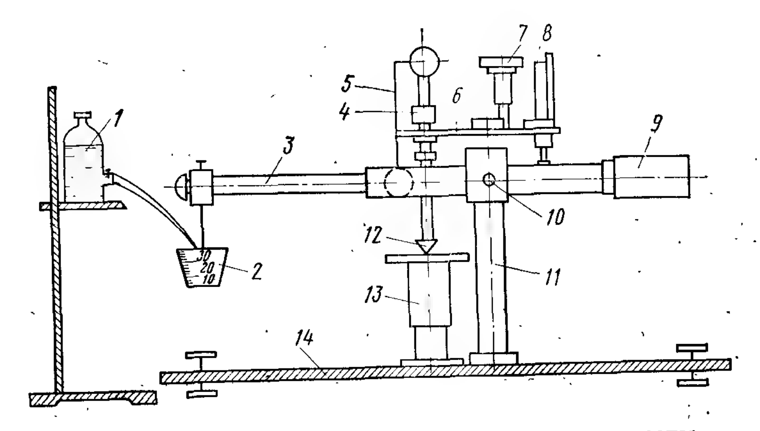


Рис. 50. Схема рычажного конического пластометра МГУ:

1 — сосуд для воды; *2* — сосуд для нагружения; *3* — рычаг; *4* — направляющая втулка; *5* — скоба для соединения штока конуса с рычагом; *6* — площадка для укрепления втулки; *7* — ограничитель вращения рычага; *8* — индикатор для измерения глубины погружения конуса; *9* — противовес; *10* — ось вращения рычага; *11* — стойки; *12* — металлический конус; *13* — подъемный столик; *14* — плита прибора

где S — площадь погруженной поверхности конуса, которая равна

$$S = 0{,}01\pi \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \frac{1}{\cos \frac{\varphi}{2}} h^2,$$

где h — глубина погружения конуса, м; φ — угол при вершине конуса.

Отсюда следует, что

$$\Theta = \frac{H \cos^2 \frac{\varphi}{2}}{0{,}01\pi \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} h^2} = K \frac{H}{h^2},$$

где $K = \frac{1000}{\pi} \cos^2 \frac{\varphi}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2}$ — константа прибора, зависящая только от угла конуса при вершине φ. Например, при $\varphi = 30°$ $K = 0{,}96$.

Определение величины вязкости дисперсных систем шариковым вискозиметром. Принцип действия шариковых вискозиметров заключается в следующем. Если массивный шарик, плотность которого ρ и радиус r, опускается под действием силы тяжести в жидкости или дисперсной среде с плотностью ρ_0, то его падение будет ускоренным только в первый момент. По мере возрастания скорости падения шарика возрастает и сила внутреннего трения f и, наконец, наступает момент, когда сила f уравновешивает силу тяжести F. Начиная с этого момента, скорость падения шарика v становится постоянной.

Между значениями F и f существует зависимость $F = fv$.

Силу F определяют из уравнения

$$F = \frac{4}{3} \pi r^3 (\rho - \rho_0) g,$$

где g — ускорение силы тяжести, м/с^2; r — радиус шарика, м; ρ — плотность шарика, кг/м^3; ρ_0 — плотность дисперсной среды (жидкости), в которой движется шарик, кг/м^3.

С другой стороны, силу внутреннего трения f можно определить из уравнения Стокса: $f = 6\pi r \eta$.

Таким образом, для момента, с которого шарик начинает двигаться с постоянной скоростью, будет справедливо равенство

$$\frac{4}{3} \pi r^3 (\rho - \rho_0) g = 6 \pi r \eta v,$$

откуда

$$\eta = \frac{2r^2 (\rho - \rho_0) g}{9v}.$$

Для определения вязкости непрозрачных суспензий (жидкостей) применяют шариковый вискозиметр, схема которого изображена на рис. 51.

В таком вискозиметре шарик, падая на дно сосуда, замыкает находящиеся там контакты-штифты и включает цепь сигнальной лампы, по моменту зажигания которой отмечают время падения шарика.

Зная время (путь шарика постоянный), вычисляют скорость (м/с)

$$v = S/t.$$

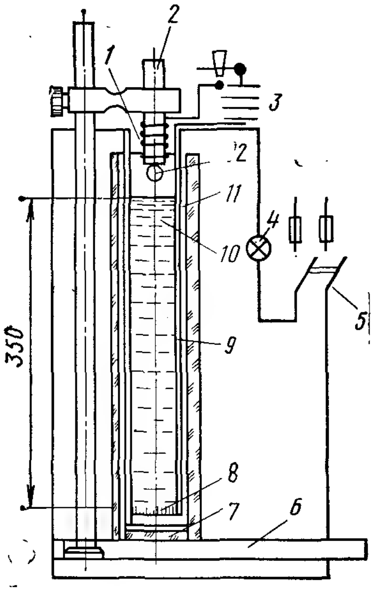


Рис. 51. Шариковый вискозиметр для определения вязкости непрозрачных жидкостей и суспензий:

1 — обмотка электромагнита; *2* — сердечник электромагнита; *3* — батарея; *4* — сигнальная лампочка; *5* — зажимы напряжения 120 В; *6* — основание прибора; *7* — контактная доска; *8* — медные контакты; *9* — медные стойки; *10* — испытуемая смесь; *11* — сосуд для испытуемой смеси; *12* — стальной шарик

До начала опыта шарик удерживается электромагнитом. В момент начала определения выключают питание электромагнита, шарик падает в исследуемую массу и движется вниз. Одновременно с выключением питания включают секундомер.

Опыт производят в термостате, производя 2—3 определения.

Изменяя размер шарика и его плотность, можно шариковыми вискозиметрами измерять вязкость различных смесей в довольно широких пределах (от 0,01 до 10^4 Н·с/м^2).

Если шариковый вискозиметр закрепить на вибромеханизме, то с помощью его можно измерять вязкость масс при вибрации и, следовательно, исследовать влияние интенсивности вибрации на вязкость этих масс.

§ 5. Определение гомогенности порошковых и растворных смесей

В современном производстве различных искусственных строительных материалов широко применяют многокомпозиционные смеси, включающие до 4—9 компонентов. Ряд этих компонентов вводится в незначительных количествах (от одного до десяти долей процента), но влияние их на деформирование структуры и свойства получаемых материалов чрезвычайно велико. Ярким при-

мером этого может служить производство изделий из газобетонов и газосиликатов, при котором равномерное распределение в формовочной массе газообразователя (например, алюминиевой пудры) оказывает решающее влияние на качество готовой продукции.

Для повышения гомогенности стекольных шихт (при производстве стеклянной ваты, огнеупорных волокон, пеностекла и т. п.), керамических смесей и масс (при производстве, например, ячеистой керамики), бетонных и растворных смесей, пластмассовых композиций непрерывно улучшаются конструкции смесителей, применяются многоступенчатое, вибрационное перемешивание, изменяются параметры этого процесса (продолжительность, порядок загрузки компонентов в смеситель, коэффициент загрузки смесительных аппаратов и т. п.).

Однако используемые на заводах и в исследовательской практике методы и критерии оценки гомогенности смесей, применяемых для изготовления строительных материалов, не позволяют достаточно объективно судить о достигнутой в процессе перемешивания однородности смесей, о последующем расслоении их при транспортировании, укладке в формы. В связи с этим трудно судить о преимуществах вновь созданного смесительного оборудования перед применявшимся ранее.

Обычно о гомогенности смесей судят по результатам испытания наиболее характерных свойств материала после завершения всех технологических операций его изготовления.

Для бетонов, растворов, керамики, известково-кремнеземистых изделий таким определителем являются прочностные показатели специально изготовленных образцов или изделий. Иногда об однородности сырьевых смесей судят по значениям средней плотности изделий в различных их частях (например, определяют среднюю плотность керамзитобетонных панелей, изготовленных в вертикальных кассетах, высверливая образцы из верхней и нижней частей готовых изделий, и по разности этого показателя судят о степени расслоения составляющих керамзитобетона).

Но оба эти показателя (особенно прочность) зависят от ряда технологических факторов, что, естественно, искажает действительную картину испытаний. Кроме того, выполнение таких определений продолжается от 3 до 7 сут, после завершения всего технологического процесса.

Невозможно также производить определение однородности масс в процессе их приготовления (при перемешивании) и переработки (при транспортировании, формовании и т. п.).

Поэтому в последние годы проведены большие работы по созданию объективных ускоренных методов определения гомогенности смесей, применяемых для изготовления строительных материалов. Наиболее перспективными являются методы люминофоров и метод радиоактивных препаратов (изотопов).

Однако метод радиоактивных препаратов требует создания специальной изотопной лаборатории и проведения сложных мероприятий, обеспечивающих полную безопасность работы, и его применение в условиях вуза нецелесообразно. В связи с этим остановимся на рассмотрении метода люминофоров.

Метод люминофоров. Этот метод, разработанный в Московском инженерно-строительном институте имени В. В. Куйбышева, основан на способности некоторых органических и минеральных веществ светиться при воздействии ультрафиолетовых, инфракрасных или рентгеновских лучей. Это явление носит название фотолюминесценции или более общего понятия — люминесценции.

Люминесцентный анализ иногда применяют при испытании строительных материалов. При этом используют способность различных компонентов, входящих в состав испытуемого материала, флуоресцировать — светиться при облучении ультрафиолетовым светом и прекращать свечение сразу же после удаления источника возбуждения.

Цвет флуоресценции для каждого вещества своеобразен и большей частью не совпадает с цветом при дневном освещении (табл. 8).

Различные приемы люминесцентного анализа вообще имеют большие перспективы в строительном материаловедении.

Определение гомогенности многокомпонентных смесей с помощью люминесцентного анализа производят путем окрашивания одного из компонентов смеси соответствующим люминофором (веществом, способным ярко светиться каким-либо цветом при воздействии невидимых ультрафиолетовых, инфракрасных или рентгеновских лучей) и введения этого компонента в состав смеси в начале перемешивания.

Таблица 8

Цвет материалов при дневном освещении и при флуоресценции

Наименование материалов	Цвет при дневном свете	Цвет люмииисценции
Мел	Белый	Коричневый
Известняк	Светло-серый	Желто-коричневый
Строительный гипс	Белый	Бежевый
Битум	Черный	Коричневый
Доменный гранулированный шлак	Светло-желтый	Фиолетовый
Портландцемент	Светло-серый	Черный
Отвердевший цементно-песчаный раствор	Серый	Коричневый
Минералы цементного клинкера:		
трехкальциевый силикат	Серо-зеленый	Темно-коричневый
двухкальциевый силикат	Бледно-зеленый	Светло-коричневый
трехкальциевый алюминат	Светло-серый	Желто-серый
четырехкальциевый алюмоферрит	Черный	Черный

Весь процесс определения гомогенности можно разделить на четыре этапа:

1. Окрашивание компонента и введение его в смеситель. 2. Отбор проб или подготовка участков поверхности конструкции для замеров. 3. Определение процентного содержания окрашенного компонента на 200—400 одинаковых площадках или в отдельных пробах. 4. Статистическая обработка результатов. Подсчет показателя однородности.

Окраска производится в зависимости от методики определения однородности. В первом случае люмогены наносят тонким слоем на цемент или песок. Для этого приготавливают смесь из песка (цемента), клея БФ в ацетоне и красителя. Смесь тщательно перемешивают до полного испарения ацетона. Для ускорения процесса смесь подогревают до температуры 50° С. Окрашенный компонент в количестве 0,05—0,2% (в зависимости от его размеров) вводится вместе с остальными составляющими в смеситель. При перемешивании окрашенный компонент распределяется по всей массе смеси и по характеру его распределения можно судить о качестве работы данного смесителя или об однородности полученной смеси (бетонной, растворной, керамической и т. п.).

Определение количества окрашенного компонента в смеси производится визуально или с помощью фотоэлектронной установки, работающей по принципу фотометрических измерителей. Фотоэлектронная установка может быть использована и как микропланиметр для измерения площади одной или сразу нескольких криволинейных фигур малых размеров. Для возбуждения люминесценции следует использовать лампы, дающие длинноволновую часть ультрафиолетового спектра, широко выпускаемые промышленностью. Видимая часть спектра источника возбуждения задерживается ультрафиолетовым фильтром *4* (рис. 52). Визуальный метод не требует специального оборудования, кроме ртутно-кварцевой лампы и ультрафиолетового фильтра. Ртутно-кварцевая лампа *1* может быть заменена обычной лампой накаливания. При использовании фосфорисцирующих светосоставов (способных длительное время светиться в темноте после возбуждения) отпадает необходимость в ультрафиолетовом источнике света. В этом случае определение количества окрашенного компонента ведется в темном помещении при временном освещении образца обычным источником света для возбуждения фосфоресценции. При определении однородности распределения окрашенного компонента визуальным методом берется 200 равных площадок на поверхности образца и подсчитывается число светящихся точек на каждой площадке.

Принцип действия фотоэлектронной установки сводится к измерению светового потока, отражаемого участком поверхности материала ограниченной диафрагмой. Схема установки проста и состоит из фотоэлемента или фотоумножителя типа ФЭУ-19, на выходе которых стоит пересчетный прибор (ПП-8, ПП-12, ПС-10000) или чувствительный гальванометр (рис. 53).

При применении флуоресцирующих светосоставов количество окрашенного компонента на каждой площадке определяется двумя способами: по количеству поглощенной энергии ультрафиолетового света, идущей на люминесцентное излучение видимой части спектра (в этом случае перед фотоэлементом устанавливают фильтр, задерживающий видимую часть спектра (увеолевое стекло) или по количеству испускаемой энергии в

виде люминесцентного излучения. В этом случае перед фотоэлементом устанавливают фильтр, задерживающий ультрафиолетовую часть спектра; подсчет процентного

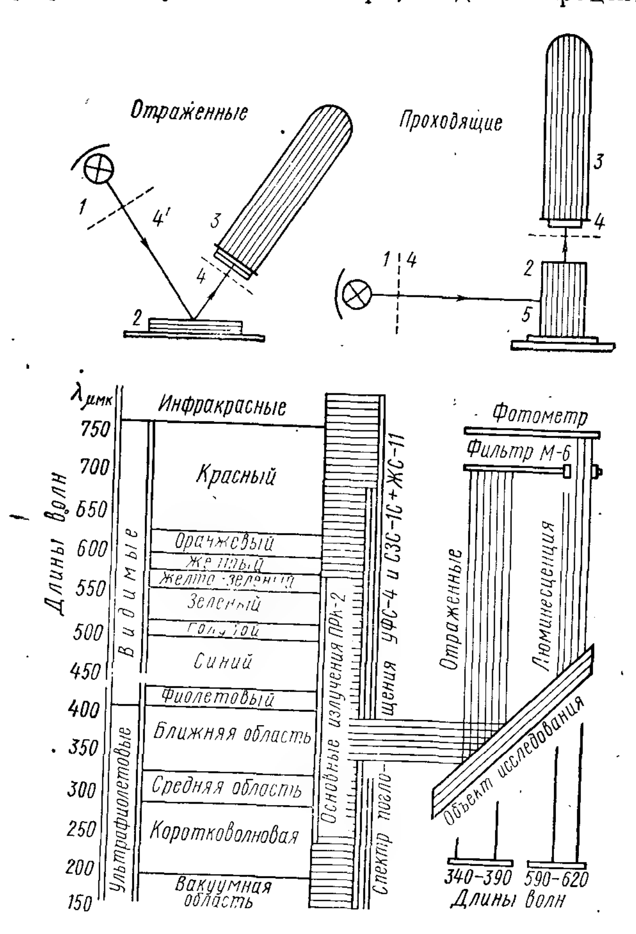


Рис. 52. Принципиальная схема определения гомогенности смесей люминесцентным методом:

1 — источник возбуждения; 2 — объект исследования; 3 — приемник излучения, 4 — скрещенные фильтры; 5 — темный экран

содержания окрашенного компонента на площадке производят по формуле

$$K_i=(N_i-N^*)/n,$$

где K_i — процент части площадки, занятой люминесцирующим компонентом; N_i — величина светового потока от всей площадки с учетом фона, в импульсах; N^* — величина светового потока фона (получаемого ввиду неполного поглощения ультрафиолетового спектра фильтром перед экраном фотоэлемента); n — величина

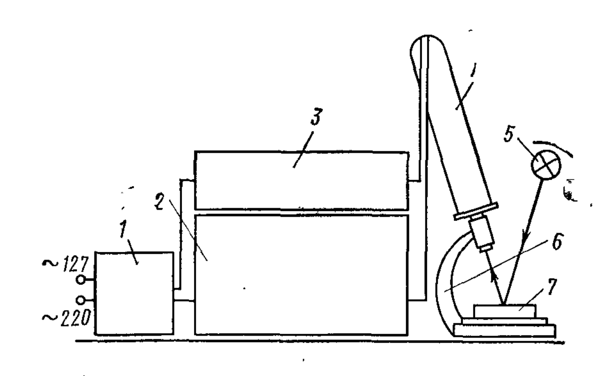


Рис. 53. Блок-схема фотоэлектронной установки:

1 — стабилизатор напряжения; 2 — пересчетное устройство; 3 — высокочувствительный фотоумножитель; 4 — фотоустановка; 5 — осветитель; 6 — микроскоп; 7 — образец материала

светового потока от площадки, полностью покрытой люмогеном, зависит от качества свечения люмогена. Величины N^* и n определяют в начале работы.

Исследование гомогенности производят следующим образом. Из исследуемой смеси в процессе перемешивания, транспортирования или укладки ее в форму отбирают пробу в количестве 50—300 г. Отобранную пробу ровным слоем наносят на стеклянную или металлическую пластинку, после чего сверху на нее накладывают вторую пластинку (сетку) черного цвета с системой круглых или квадратных прорезей (диафрагм) одинаковых размеров. Величина этих прорезей зависит от максимальной крупности компонентов, входящих в состав исследуемой смеси. Например, для исследования стекольных шихт и керамических масс рекомендуемая

величина прорезей составляет 3—4 мм², растворов и силикатных бетонов — 1 см² и т. п.

При определении равномерности распределения составляющих в готовых (затвердевших) образцах или изделиях исследуемую поверхность очищают металлической щеткой и обдувают сжатым воздухом, после чего накладывают сетку и производят измерения. При этом на поверхности исследуемого материала с помощью сетки выделяют 200 площадок одинакового размера и производят подсчет светящихся точек в каждой из них (при визуальном методе) или процента части площадок (K_i), занятого люминесцирующим компонентом (при применении фотоэлектронной установки).

По результатам измерений строят гистограммы распределения числа площадок по величине поверхностного содержания (в числах или процентах) определяемого компонента и проводят статистическую обработку полученных данных.

При этом вычисляют среднюю величину поверхностного содержания окрашенного компонента — $\overline{K}$ и стандартное отклонение σ, которое характеризует однородность распределения компонента и, следовательно, гомогенность смеси.

Величину σ определяют из зависимости

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (K_i - \overline{K})^2}{M}},$$

где $\overline{K} = \Sigma K_i / M$ — среднее значение величин K_i: M — количество измерений.

Далее во второй части лабораторного практикума приводятся некоторые примеры организации и проведения учебно-исследовательских работ, набор которых может быть расширен и взаимоувязан с возможностями данного вуза.

В этот набор работ также целесообразно включить результаты законченных научно-исследовательских работ, выполненных учеными данного высшего учебного заведения или других вузов и научно-исследовательских организаций.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СВОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Лабораторные занятия рекомендуется проводить с группами студентов в 12—14 человек. Для обеспечения активного участия каждого студента в проведении опытов следует 2—3 студентам (бригаде) выдавать индивидуальные задания (варианты) или на весь комплекс исследования, предусмотренный в данной работе, или, когда это слишком трудоемко, на часть этих исследований, входящую в рамки общей задачи, поставленной перед всей группой. Данные, полученные при выполнении частичной задачи, под руководством преподавателя следует сводить в общие таблицы и графики, обобщающие результаты работы, выполненной всей группой студентов.

После выполнения работы каждый студент должен составить индивидуальный отчет по форме, принятой при составлении отчетов о проведенных научных исследованиях. Этот отчет должен содержать следующие данные:

1) краткий обзор литературных данных о состоянии и задачах исследования по вопросам, указанным в задании; 2) выбор и обоснование принятой методики исследования; 3) чертежи-схемы приборов, применявшихся при проведении опытов, и описание принципа их действия; 4) сведения о сырьевых материалах и полуфабрикатах, применявшихся при выполнении данной работы; 5) результаты проведенных опытов, полученные лично студентом, бригадой и группой (подгруппой), оформленные в виде таблицы и графиков; 6) анализ полученных результатов и общие выводы с учетом технико-экономических соображений.

Для обеспечения достоверности полученных данных рекомендуется там, где это возможно (например, при изучении пористости), применять вероятностно-статистические методы оценки полученных результатов.

ГЛАВА III. МИНЕРАЛЬНАЯ ВАТА И ИЗДЕЛИЯ ИЗ НЕЕ

Минеральная вата представляет собой волокнистый материал, получаемый из силикатных расплавов. Сырьем

Для производства минеральной ваты служат многие горные породы, металлургические шлаки и отходы промышленности строительных материалов (бой глиняного и силикатного кирпича). При производстве ваты из того или иного сырья нередко возникает необходимость введения в состав шихты добавки, имеющей другой химический состав, для получения более качественного волокна.

Для характеристики химического состава сырья и самой ваты пользуются величиной модуля кислотности, который представляет собой отношение суммы кислотных окислов ($SiO_2+Al_2O_3$), содержащихся в сырье или вате, к сумме основных окислов.

В соответствии с ГОСТ 4640—76 **модуль кислотности** минеральной ваты должен быть не менее 1,2

$$M_к=\frac{\%\ SiO_2+\%\ Al_2O_3}{\%\ CaO+\%\ MgO}\geqslant 1{,}2,$$

а для высшей категории ваты марки 75—1,5.

Работа 1. Определение качественных показателей минеральной ваты

Данная лабораторная работа проводится с целью обучения студентов методам расчета состава шихты для получения минеральной ваты, при выполнении которых в значительной степени закрепляются знания теоретического курса в части сырья и химического состава ваты, приобретается некоторый навык практической работы по контролю технологического процесса производства минеральной ваты.

При выполнении второй части работы студенты изучают свойства самой ваты и определяют ее марку.

Расчет состава сырьевой шихты по заданному $M_к$. В этой части работы важным является личное участие каждого студента в выполнении необходимых расчетов. Для этого рекомендуется выдавать индивидуальное задание каждому студенту, для чего необходимо иметь 12—15 вариантов исходных данных (табл. 9).

Каждый студент производит расчет состава шихты двумя приведенными ниже способами и определяет расход сырьевых материалов, потребный для получения 1 т минеральной ваты. Расход сырьевых материалов следует определять с учетом производственных потерь, имеющих место при складировании, транспортировке и дроб-

Таблица 9

№ варианта	Наименование сырьевых материалов	Содержание окислов, % по массе											$M_к$	Влажность, %	Способ переработки расплава в волокно
		SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	FeO	MnO	S	SO_3	R_2O	п. п. п.			
I	Доменный шлак	41,2	3,79	48,14	2,62	—	0,64	3,12	1,35	—	—	—	1,5	6	Многовалковая центрифуга
	Кирпичный бой	71,7	16,2	2,2	1,9	5,6	—	—	—	—	2,4	—		2	
II	Доменный шлак	33,46	7,33	26,3	8,4	17,77	—	5,25	0,39	—	—	1,51	1,7	7	Пародутьевая установка
	Кирпичный бой	65,6	14,62	6,22	2,25	7,46	—	—	—	0,1	3,71	—		3	
III	Мартеновский шлак	23,3	3,92	44,0	12,02	8,38	—	8,46	0,11	—	—	—	1,3	8	То же
	Бой силикатного кирпича	84,92	1,35	5,5	0,54	1,15	—	—	—	0,34	1,89	4,5		4	
IV	Доменный шлак	38,24	15,08	33,3	8,11	0,52	—	3,26	0,54	—	—	0,22	1,6	6	Центробежно-дутьевая установка
	Кирпичный бой	61,82	16,75	7,77	2,64	6,89	—	—	—	0,4	3,89	—		2,5	
V	Мартеновский шлак	18,66	11,33	37,1	15,57	13,37	—	4,19	0,15	—	—	—	1,2	7	Многовалковая центрифуга
	Бой силикатного кирпича	77	1,4	12,3	0,3	1,2	—	—	—	0,6	—	7,2		3,5	
VI	Доламитизированный мергель	41,5	6,7	31,1	15,5	5,0	—	—	—	0,2	—	—	1,7	5	Пародутьевая установка
	Глинистый сланец	53,82	18,82	2,32	4,8	11,02	—	—	—	0,81	—	7,41		7	

№ варианта	Наименование сырьевых материалов	Содержание окислов, % по массе											$M_к$	Влажность, %	Способ переработки расплава в волокно
		SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	FeO	MnO	S	SO_3	R_2O	п. п. п.			
VII	Гранит	70,29	13,04	2,19	0,98	5,54	—	—	—	0,11	7,58	0,27	1,3	2	Дисковая центрифуга
	Известняк	1,92	0,11	54,1	0,39	0,49	—	—	—	0,2	—	42,79		4	
VIII	Базальт	51,15	13,7	9,14	6,06	6,26	9;22	—	—	—	2,11	1,74	1,5	2	Центробежно-дутьевая установка
	Доломит	0,44	0,2	31,84	20,72	0,34	—	—	—	—	—	46,94		3	
IX	Диабаз	47,21	14,09	10,56	6,12	6,49	8,65	1,29	—	—	3,5	1,49	1,4	3	Многовалковая центрифуга
	Известняк	0,7	0,19	54,29	0,71	0,31	—	—	—	—	—	42,79		5	
X	Сланец хлоритовый	50,08	14,77	9,2	6,41	14,23	—	0,36	—	—	3,62	1,33	1,6	6	Пародутьевая установка
	Доломит	0,72	—	30,9	21,18	—	—	—	—	0,37	—	47,12		4	
XI	Габбро	46,8	16,96	10,01	6,34	5,5	8,08	—	—	—	3,59	2,72	1,2	2	Центробежно-дутьевая установка
	Известняк	1,37	0,65	44,18	8,68	1,12	—	—	—	0,05	—	43,95		5	
XII	Мартеновский шлак	23,3	3,92	44,0	12,02	8,38	—	8,46	0,11	—	—	—	1,4	7	Многовалковая центрифуга
	Кирпичная глина	76,37	8,39	2,19	1,09	2,92	—	—	—	—	—	9,04		8	

лении материалов, а также при переработке силикатного расплава в минеральное волокно.

Исходными данными для расчета шихты служат химические составы сырьевых материалов и заданный модуль кислотности минеральной ваты, который обусловливается назначением минеральной ваты, условиями ее службы в конструкции и способом переработки расплава в минеральное волокно. Состав шихты рассчитывают двумя методами: 1) методом составления и решения системы алгебраических уравнений и 2) методом последовательного приближения.

Метод составления и решения алгебраических уравнений. Обычно шихта для производства минеральной ваты состоит из двух видов сырья, поэтому при расчете шихты составляют и решают систему двух уравнений с двумя неизвестными x и y, выражающими количество составных частей шихты.

Одно из уравнений имеет вид $x+y=1$, а другое уравнение представляет собой выражение модуля кислотности

$$\frac{(SiO_2' + Al_2O_3')\,x + (SiO_2'' + Al_2O_3'')\,y}{(CaO' + MgO')\,x + (CaO'' + MgO'')\,y} = M_к,$$

где SiO_2', Al_2O_3', CaO' и MgO' — содержание соответствующих окислов в первом виде сырья, %; SiO_2'', Al_2O_3'' CaO'' и MgO'' — содержание тех же окислов во втором виде сырья, %; $M_к$ — величина заданного модуля кислотности.

Решая уравнения относительно x или y, получают содержание сырьевых материалов в шихте в долях единицы, а затем выражают состав шихты в процентах по массе. Расхождение величины модуля кислотности заданного и полученного в результате расчета не должно превышать 5%.

Метод последовательного приближения*. Этот метод состоит в том, что, задаваясь содержанием какого-либо одного химического окисла в получаемой минеральной вате и зная содержание этого окисла в составе сырьевых материалов, в порядке определенной очередности находят количество отдельных частей шихты. Таким окислом обычно является один из окислов,

* Предложен К. Э. Горяйновым и сотрудниками.

определяющий величину модуля кислотности, чаще всего SiO_2.

Из двух видов сырьевых материалов, составляющих шихту, один считают основным, а другой — дополнительным, количество которого выражают через x. Далее задаются оптимальным содержанием SiO_2 в расплаве (a). Зная процентное содержание SiO_2 в основном и дополнительном сырье ($б$ и $в$), составляют уравнение $a = б + x(в-б)$, откуда определяют $x = (a-б)/(в-б)$.

Вычислив количество дополнительного сырья (в долях единицы), находят путем вычитания его из единицы количество основного сырья $(1-x)$. Затем определяют процентное содержание отдельных химических окислов в составе шихты, как показано на следующем примере.

Пусть содержание SiO_2 в основном и дополнительном видах сырья будет n и m, %, тогда содержание SiO_2 в составе шихты можно выразить равенством

$$\% \ SiO_2 = n(1-x) + mx.$$

Так же находят содержание и других окислов, определяющих модуль кислотности, т. е. Al_2O_3, CaO и MgO.

Подставляя найденные значения этих четырех окислов в формулу для определения модуля кислотности, находят его величину. Если модуль кислотности оказался в заданных пределах, то расчет состава шихты на этом заканчивают, пересчитывая только содержание обоих видов сырья с долей единицы в проценты по массе, и вносят поправку на влажность материалов.

Если же полученный модуль кислотности выходит за пределы заданных значений, то задаются другой величиной содержания SiO_2 в составе шихты и повторяют расчет. При излишне высоком значении $M_к$ для повторного расчета принимают меньшее содержание SiO_2, а при недостаточной величине $M_к$ берут меньшее содержание CaO в составе шихты.

Пример расчета шихты. Требуется определить расход сырьевых материалов для получения 1 т минеральной ваты.

Данные для расчета: заданный модуль кислотности ваты $M_к = 1{,}5$; основное сырье — доменный шлак; дополнительное сырье — бой глиняного кирпича; влажность доменного шлака — 8%, кирпичного боя — 2%; переработка расплава в волокно осуществляется на многовалковой центрифуге. Расчет произвести двумя способами.

Химический состав сырья

Сырье	Содержание окислов, % по массе								
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	FeO	MnO	S	R_2O
Доменный шлак	41,2	3,79	48,14	2,62	—	0,64	3,12	1,35	—
Кирпичный бой	71,7	16,2	2,2	1,9	5,6	—	—	—	2,4

1. Метод составления и решения алгебраических уравнений. Обозначая через x содержание в шихте доменного шлака, а через y — кирпичного боя, составляем два уравнения:

$$x + y = 1;$$

$$\frac{(41{,}2 + 3{,}79)\,x + (71{,}7 + 16{,}2)\,y}{(48{,}14 + 2{,}62)\,x + (2{,}2 + 1{,}9)\,y} = \frac{44{,}99x + 87{,}9y}{50{,}76x + 4{,}1y} = 1{,}5.$$

Систему уравнений решаем методом исключения одного неизвестного $x = 1 - y$.

Подставляя значение x, выраженное через y, во второе уравнение, имеем одно уравнение с одним неизвестным:

$$\frac{44{,}99\,(1-y) + 87{,}9y}{50{,}76\,(1-y) + 4{,}1y} = 1{,}5.$$

Решая это уравнение относительно y, получаем его значение. В данном случае $y = 0{,}276$, тогда $x = 1 - 0{,}276 = 0{,}724$.

Округляя полученные величины до сотых долей, получаем, что $x = 0{,}72$, а $y = 0{,}28$, т. е. шихта состоит из 72% шлака и 28% боя глиняного кирпича (по массе).

После этого уточняем величину модуля кислотности, которым будет характеризоваться расплав, полученный из шихты рассчитанного состава. Для этого умножаем количества окислов исходных компонентов шихты на значения x и y, определяя таким образом количества соответствующих окислов, вносимых в расплав шлаком и кирпичным боем. По результатам расчета составляем таблицу содержания окислов в расплаве (см. табл. 10).

Таблица 10

Содержание окислов в расплаве

Составные части расплава	Содержание окислов, вносимых в расплав, %								
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	FeO	MnO	S	R_2O
Доменный шлак	29,7	2,73	34,6	1,89	—	0,46	2,25	0,97	—
Кирпичный бой	20,1	4,53	0,62	0,53	1,57	—	—	—	0,67

Подставляя значения SiO_2, Al_2O_3, CaO и MgO в формулу для определения модуля кислотности, уточняем значение его величины

$$M_к = \frac{49,8 + 7,26}{35,22 + 2,42} = 1,51.$$

Расхождение величины модуля кислотности заданного и полученного составляет менее 1%. Следовательно, рассчитанный состав шихты удовлетворяет условие получения расплава $M_к = 1,5$.

2. Метод последовательного приближения. Для определения количества дополнительного сырья, в данном случае кирпичного боя, принимаем количество основного сырья (шлака) за единицу и задаемся содержанием в шихте окисла SiO_2, равным 50%. Тогда

$$x = (a - б)/(в - б) = (50 - 41,2)/(71,7 - 41,2) = 0,289,$$

где x — количество кирпичного боя, добавляемого в шихту в долях единицы; a — заданное содержание принятого окисла (SiO_2) в составе шихты, %; $б$ — содержание принятого окисла в шлаке, %; $в$ — содержание принятого окисла в кирпичном бое, %.

Следовательно, 1 вес. ч. шихты будет состоять из 0,711 вес. ч. шлака и 0,289 вес. ч. кирпичного боя.

В такой шихте будет содержаться, % по массе:

$$SiO_2 = (0,711 \cdot 41,2 + 0,289 \cdot 71,7) = 50,01;$$

$$Al_2O_3 = (0,711 \cdot 3,79 + 0,289 \cdot 16,2) = 7,38;$$

$$CaO = (0,711 \cdot 49,14 + 0,289 \cdot 2,2) = 33,86;$$

$$MgO = (0,711 \cdot 2,62 + 0,289 \cdot 1,9) = 2,41.$$

При таком процентном соотношении окислов модуль кислотности шихты будет равен

$$M_к = \frac{50,01 + 7,38}{33,86 + 2,41} = 1,58.$$

Полученное значение модуля кислотности шихты несколько превышает заданное его значение. С целью некоторого уменьшения значения $M_к$ необходимо произвести дополнительный расчет. Уменьшим содержание в составе шихты SiO_2 на некоторую величину и примем его равным 49,8%.

Тогда

$$x = \frac{49,8 - 41,2}{71,7 - 41,2} = 0,2756, \text{ или } 0,28,$$

т. е. шихта будет состоять из 72% шлака и 28% кирпичного боя. В такой шихте будет содержаться, % по массе:

$$SiO_2 = 0,72 \cdot 41,2 + 0,28 \cdot 71,7 = 49,74;$$

$$Al_2O_3 = 0,72 \cdot 3,79 + 0,28 \cdot 16,2 = 7,26;$$

$$CaO = 0,72 \cdot 48,14 + 0,28 \cdot 2,2 = 35,28;$$

$$MgO = 0,72 \cdot 2,62 + 0,28 \cdot 1,9 = 2.42.$$

Модуль кислотности такой шихты будет равен $M_к = \frac{49,74 + 7,26}{35,28 + 2,42} = 1,51$, т. е. в пределах заданного значения.

Таким образом, расчет шихты, произведенный обоими методами, позволил установить, что шихта должна состоять из 72% доменного шлака данного химического состава и 28% боя глиняного кирпича.

Следовательно, для получения 1 т минеральной ваты без учета влажности сырьевых материалов и производственных потерь расход компонентов шихты составит: доменного шлака — 720 кг; боя глиняного кирпича — 280 кг.

Введя поправку на влажность, получим: расход доменного шлака — $720 \cdot 1,08 = 777,6$, или 778 кг; расход кирпичного боя — $280 \cdot 1,02 = 285,6$, или 286 кг.

Предположим, что общие производственные потери (при транспортировании и складировании материалов, при их дроблении и отходы при переработке расплава в волокно) составляют для шлака 28%, а для кирпичного боя — 20%. Тогда практический расход материалов в естественном состоянии на 1 т минеральной ваты составит: доменного шлака — 778·1,28=995 кг; кирпичного боя — 286·1,20=343 кг.

Результаты проведенной работы рекомендуется записывать по следующей форме:

Наименование сырьевых материалов	Расход сырья на 1 т ваты без учета влажности и производственных потерь, кг	Влажность сырья, %	Производственные потери, %	Практический расход на 1 т ваты, кг

Определение марки минеральной ваты. Для выполнения второй части данной лабораторной работы желательно иметь в лаборатории несколько сортов минеральной ваты. В этом случае, разделив подгруппу студентов на бригады, состоящие из 2—3 человек, преподаватель имеет возможность выдать каждой бригаде самостоятельное задание.

Задание состоит в следующем.

1. Пользуясь методами, изложенными в первой части настоящего практикума, студенты определяют основные свойства ваты: а) влажность; б) среднюю плотность; в) содержание корольков; г) толщину (средний диаметр) волокон; д) содержание волокон толщиной свыше 15 мкм; е) теплопроводность при температурах 25, 100 и 300° С; ж) содержание органических добавок; з) содержание серы; и) температуроустойчивость; к) водостойкость.

2. Полученные результаты сравнивают с требованиями ГОСТ 4640—76 (табл. 11) и делают выводы по качеству ваты, относя ее к той или иной марке.

Для ускорения работы каждый член бригады может производить отдельные операции. Отчет о проведенной работе составляется каждым студентом в полном объеме.

Таблица 11

Наименование показателей	Нормы для марок				
	75		100		125
	для высшей категории качества	для 1-й категории качества	для высшей категории качества	для 1-й категории качества	для 1-й категории качества
Средняя плотность (объемная масса), кг/м³, не более	73	75	97	100	125
Содержание неволокнистых включений («корольков») размером свыше 0,25 мм, %, не более	10	12	15	20	25
Средний диаметр волокон, мкм, не более	6	8	7	8	8
Содержание волокон диаметром свыше 15 мкм, %, не более	5	7	5	7	7
Модуль кислотности, не менее	1,5	1,2	1,4	1,2	1,2
Водостойкость pH, не более	5	7	5	7	7
Температуроустойчивость, ° С, не менее	700	600	700	600	600

Примечания: 1. Изготовление минеральной ваты марки 125 допускается до июля 1980 г.

2. Температуроустойчивость минеральной ваты, используемой для получения изделий на органическом связующем, не определяется.

Лабораторное оборудование и приборы: 1. Измерительный микроскоп (3—5 шт.). 2. Прибор для определения содержания корольков. 3. Прибор для определения объемной массы минеральной ваты. 4. Химическая посуда и реактивы. 5. Весы технические Т-200.

Результаты, полученные при проведении исследований, рекомендуется записывать по следующей форме:

Наименование материала ____________________

Завод-изготовитель ____________________

Дата и место испытания ____________________

Наименование показателей свойств	Результаты испытания отдельных образцов, навесок										Средняя величина
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Средняя плотность под удельной нагрузкой 0,002 МПа, кг/м^3											
Содержание «корольков» размером свыше 0,25 мм, %											
Теплопроводность, Вт/(м·° С), при средней температуре:											
25 ± 5° С											
100° С											
300° С											
Средний диаметр волокон, мкм											
Содержание серы, %											
Содержание органических добавок, %											
Температуроустойчивость, ° С											
Водостойкость pH											

Работа 2. Исследование влияния вида и количества связующих веществ на основные свойства твердых минераловатных изделий

Минеральная вата, являясь эффективным теплоизоляционным материалом, имеет ряд существенных недостатков: уплотняемость (слеживаемость) ваты во времени, что приводит к образованию пустот в теплоизоляционных конструкциях; невозможность применения индустриальных методов при производстве тепломонтажных работ при использовании рыхлой ваты; запыленность воздуха при работе с рыхлой ватой, вредно влияющая на здоровье людей и требующая применения специальных мер по охране труда.

В связи с этим в настоящее время минеральную вату применяют в основном в виде различного рода изделий: матов, войлока, полужестких и жестких плит, скорлуп, сегментов.

Для получения гибких полужестких и жестких изделий применяют различного рода связующие вещества,

назначение которых — скреплять между собой контактирующие волокна ваты. В зависимости от количества связующего вещества, введенного в вату, получают изделия с разными свойствами. На свойства изделий значительное влияние оказывает и вид связующего вещества, а также способ его введения в минеральную вату.

Целью настоящей работы является изучение влияния количества и вида связующего вещества на основные свойства жестких минераловатных изделий.

Получение жестких изделий из минеральной ваты состоит из трех основных технологических операций: 1) смешивания волокон ваты со связующим веществом; 2) формования изделий из полученной массы с подпрессовыванием или вакуумированием; 3) тепловой обработки отформованных изделий.

Данная работа выполняется подгруппой студентов, разделенной на три бригады по 3—4 человека. Каждая бригада изготовляет образцы жестких минераловатных изделий, используя одно из связующих веществ и изменяя его содержание в формовочной массе согласно с заданием, варианты которого приведены в табл. 12.

Таблица 12

Номера вариантов	Наименование изделия	Вид связующего вещества	Количество связующего вещества, % от ваты			
			1	2	3	4
1		Битумное	10	14	18	22
2		Глиняное	10	14	18	22
3		Диатомитовое	10	14	18	22

Все бригады работают с одной и той же ватой. Каждая бригада изготовляет по три образца для каждого состава на заданном ей связующем веществе и после соответствующей тепловой обработки отформованных образцов производит их испытание на среднюю плотность и прочность при изгибе. По полученным данным все бригады строят графики зависимостей средней плотности и прочности от количества связующего вещества, а затем под руководством преподавателя все эти графики сводятся в один общий график, анализ которого позволит сделать соответствующие выводы о влиянии

вида связующего вещества и его количества на среднюю плотность и прочность жестких минераловатных изделий.

1. Изготовление образцов на битумном вяжущем заключается в следующем. Во-первых, приготавливают связующее вещество. Из-за сложности получения чистой битумной эмульсии в лабораторных условиях готовят вначале глиняно-битумную пасту. Для этого используют молотую глину (лучше каолиновую марки 4-1), битум марок III и IV и подогретую воду. Состав глиняно-битумной пасты следующий: 1 : 1 : 2 (битум : глина : вода). Приготовление глиняно-битумной пасты осуществляют следующим образом. В лабораторную мешалку вливают 25% подогретой до 80—90° С воды, затем постепенно всыпают молотую глину. После тщательного перемешивания глины с водой и получения глиняного теста в мешалку тонкой струей выливают разогретый до температуры 140—150° С битум. Одновременно с битумом для поддержания постоянной сметанообразной консистенции массы постепенно вливают подогретую оставшуюся воду. После тщательного перемешивания всех компонентов и равномерного распределения битума в массе, что характеризуется равномерным цветом массы, паста считается готовой.

Получение из массы битумной эмульсии производят добавлением воды с таким расчетом, чтобы концентрация битума в эмульсии составляла 10%. При этом масса подвергается интенсивному непрерывному перемешиванию.

Во-вторых, производят формование образцов. С целью экономии материалов и упрощения процесса формования образцов, а также учитывая, что работа производится с учебной целью, образцы рекомендуется изготовлять размером 100×200×30 мм. В соответствии с этим в лаборатории необходимо иметь комплект форм с перфорированными днищами.

Формование образцов осуществляют следующим образом. Исходя из заданной средней плотности и размеров образца, отвешивают необходимое количество ваты. При этом учитывают количество связующего вещества, которое будет введено в вату (количество битума и глины). Вначале изготовляют три образца с количеством связующего 10% от массы ваты. Для этого отвешивают три навески ваты с точностью до 1 г и каждую навеску смешивают с глиняно-битумной эмульсией, которую берут из расчета, чтобы в образце содержалось 10% битума от веса ваты. Вату, равномерно пропитанную глиняно-битумной эмульсией, укладывают в форму, стараясь распределить ее ровным слоем и разровнять имеющиеся комки. Поверх ваты устанавливают пуансон с грузом, обеспечивающим давление 0,005 МПа. Для получения необходимой толщины образца в форме должны быть ограничители.

Под действием груза часть воды удаляется из массы, а битум осаждается на волокнах ваты и скрепляет их между собой. Обычно влажность образца после формования составляет 65—75%.

В-третьих, производят тепловую обработку отформованных образцов путем высушивания их в сушильном шкафу при температуре 110—120° С в течение 5—6 ч или в лабораторной сушилке при температуре до 130° С в течение 3—4 ч.

Изготовление образцов с большим количеством связующего вещества производят аналогичным путем. При этом сохраняют неизменным количество ваты и увеличивают количество связующего вещества.

2. Изготовление образцов с применением неорганических связующих веществ осуществляют следующим образом.

Вначале приготавливают водную суспензию глины или диатомита в количестве, необходимом для формования трех образцов. При этом количество связующего вещества берут в соответствии с заданием (по табл. 10), а количество воды из расчета 1 : 10 (вата : вода). Приготовленную суспензию делят на три части и каждую часть тщательно перемешивают с навеской ваты. При этом навеску ваты берут в таком же количестве, в каком ее берет бригада, изготавливающая образцы на битумном связующем. Это делается для того, чтобы при испытании образцов можно было получать сопоставимые результаты.

Тщательно перемешанную массу помещают в форму и производят формование образца путем нагружения его грузом, обепечивающим давление 0,005 МПа. Изменение количества связующего вещества (при изготовлении образцов с большим его содержанием) обеспечивают путем увеличения его концентрации в суспензии.

Тепловую обработку отформованных образцов осуществляют в сушильном шкафу или в лабораторной су-

шилке при температуре 130—150° С до постоянной массы.

3. Испытание образцов на среднюю плотность и прочность при изгибе производят по методике, изложенной в первой части практикума (гл. I, § 3 и 5).

По полученным результатам каждая бригада строит графики зависимости свойств изделий от количества и вида связующего вещества, указанные в начале описания данной работы.

Для удобства пользования опытными данными при построении графиков результаты, полученные при проведении опытов подгруппой, рекомендуется записывать по следующей форме:

Вид связующего вещества и его количество в образцах, % по массе		Показатели свойств образцов							
		средняя плотность, кг/м³				прочность при изгибе, Па			
		1	2	3	среднее значение	1	2	3	среднее значение
Битумное	10								
	14								
	18								
	22								
Глиняное	10								
	14								
	18								
	22								
Диатомитовое	10								
	14								
	18								
	22								

Лабораторное оборудование и приборы: 1. Лабораторная мешалка емкостью 5—10 л. 2. Комплект форм с перфорированными днищами и пуансонами. 3. Сушильный шкаф или лабораторная сушилка с принудительным движением теплоносителя. 4. Прибор для испытания образцов на изгиб. 5. Измерительный инструмент. 6. Весы технические Т-200. 7. Мерная посуда.

ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ III

Китайцев В. А. Технология теплоизоляционных материалов. М., 1964.

Технология минеральных теплоизоляционных материалов и легких бетонов / *Горяйнов К. Э., Дубенецкий К. Н., Васильков С. Г., Попов Л. Н.* М., 1976.

Справочник по производству теплоизоляционных и акустических материалов. М., 1976.

ГЛАВА IV. ЯЧЕИСТЫЕ БЕТОНЫ

Ячеистые бетоны представляют собой искусственные каменные материалы, состоящие из затвердевшего вяжущего вещества с равномерно распределенными в нем воздушными ячейками (порами).

По способу получения ячеистые бетоны делятся на пенобетоны и газобетоны.

По виду вяжущего вещества ячеистые бетоны подразделяются на следующие разновидности: на цементе (пенобетон и газобетон); на известковом вяжущем (пеносиликат и газосиликат); на гипсовом вяжущем (пеногипс и газогипс).

Кроме того, при получении ячеистых бетонов могут быть использованы гипсоцементнопуццолановое вяжущее и смешанное вяжущее, состоящее из портландцемента и извести.

Пористую структуру при получении пенобетонов создают путем перемешивания растворов с предварительно приготовленной пеной или путем введения пенообразователя непосредственно в раствор, что способствует вовлечению пузырьков воздуха внутрь раствора при интенсивном его перемешивании с применением вибрационной обработки или без нее.

Для получения стойкой пены в промышленности применяют следующие основные виды пенообразователей: а) клееканифольный, б) смолосапониновый, в) алюмосульфонафтеновый, г) КИСК, состоящий из канифоли, извести, казеинового клея и ССБ.

В качестве порообразователя при производстве газобетонов и газосиликатов, применяют алюминиевую пудру марок ПАК-3 и ПАК-4, значительно реже — технический пергидроль, представляющий собой 30%-ный раствор перекиси водорода в воде.

В качестве мелкого заполнителя в ячеистых бетонах чаще всего применяют молотый кварцевый песок и золуунос, получаемую при сжигании твердого пылевидного топлива.

Работа 1. Подбор состава ячеистого бетона

Выполнение данной работы имеет целью научить студентов определять состав теплоизоляционного ячеистого бетона в зависимости от заданных свойств, применяющихся сырьевых материалов и порообразователей.

Работа выполняется бригадами студентов по 2—3 человека. Варианты заданий приведены в табл. 13.

В процессе работы каждая бригада выполняет следующие операции: производит расчет состава ячеистого бетона заданного состава; приготавливает порообразователь; формует контрольные образцы; производит испытание образцов, определяя среднюю плотность и прочность при сжатии, вносит коррективы в состав ячеистого бетона и производит подсчет расхода материалов на 1 м^3 готовых изделий.

а. Приготовление и подготовка пено- и газообразователей. Для приготовления клееканифольного пенообразователя применяют клей костный или мездровый, канифоль, едкий натр и воду.

Процесс приготовления этого пенообразователя состоит из следующих операций: получения клеевого раствора, приготовления водного раствора щелочи, варки канифольного мыла, смешивания клеевого раствора с канифольным мылом.

Для получения клеевого раствора клей разбивают на куски размером 2—3 см, укладывают в железный бак и заливают водой, температура которой 15—20° С, в пропорции 1 : 1 (по массе). Клей замачивают в воде в течение 24 ч. Клеевой раствор получают нагреванием замоченного клея при температуре 40—50° С в течение 1,5—2 ч до полного его растворения.

Для приготовления канифольного мыла в 1 л воды растворяют при кипячении 166 г едкого натра (плотность раствора должна быть равна 1,16). Канифоль, раздробленную на мелкие куски и просеянную через сито с отверстиями 5 мм, постепенно добавляют в кипящий раствор едкого натра при непрерывном перемешивании. Соотношение канифоли и раствора едкого натра следует брать 1 : 1, при этом канифоль берут по массе (кг), а раствор едкого натра — по объему (л). Смесь раствора едкого натра с канифолью кипятят 1,5—2 ч до полного растворения канифоли, которое харктеризуется получением однородного цвета массы и отсутствием ко-

Таблица 13

№ варианта	Наименование ячеистого бетона	Способ твердения	Вид вяжущего	Вид порообразователя	Вид заполнителя	Заданные свойства	
						$\rho_{ср}$, кг/м^3	$R_{сж}$, МПа
1	Газобетон	Автоклавный	Портландцемент и известь	ПАК-3	Молотый песок	400	12
2	Газосиликат	То же	Известь	ПАК-3	Зола-унос	450	12
3	Пенобетон	»	Портландцемент	Клееканифольный	Молотый песок	400	12
4	Пеносиликат	»	Известь	КИСК	То же	450	12

мочков и крупинок. Испаряющуюся при кипячении воду по мере надобности восполняют горячей водой, заранее подогретой до температуры 70—80° С.

Смешивание клеевого раствора и канифольного мыла в пропорции 1 : 0,7 (по массе) производят при температуре клея 30° С и канифольного мыла 60° С. Клеевой раствор небольшими порциями вливают в канифольное мыло и тщательно перемешивают. Полученная смесь называется клееканифольным пенообразователем. Хранить его надо в стеклянной посуде в прохладном месте при положительной температуре.

Перед применением клееканифольный пенообразователь разбавляют горячей водой (50—60° С) в пропорции 1 : 5 (по объему). В таком виде он называется рабочим составом и может загружаться в пеновзбиватель пенобетономешалки.

б. Приготовление пенообразователя КИСК. Для приготовления пенообразователя КИСК применяют казеиновый клей, канифоль и воду, а иногда, с целью регулирования жесткости и стойкости пены, в состав пенообразователя вводят известь и ССБ.

Пенообразователь КИСК приготавливают в вертикальной лопастной мешалке при 10—20 мин$^{-1}$. В непрерывно работающую мешалку заливают подогретую до температуры 30—35° С воду, а затем всыпают порошок казеинового клея и продолжают перемешивание до полного растворения клея. Расход клея составляет 10 г на 1 л воды. После полного растворения клея в мешалку вводят молотую канифоль, просеянную на сите с отверстиями 0,5 мм в количестве 10 г на 1 л воды и продолжают перемешивание еще 20—25 мин. После выполнения этих операций пенообразователь считается готовым.

Для получения рабочего раствора пенообразователь разбавляют водой в соотношении 1 : 9 (по объему). Взбивание пены из этого раствора производят в пеновзбивателе при частоте вращения вала 250—300 мин$^{-1}$.

Для получения более жесткой пены в состав компонентов пенообразователя при его приготовлении вводят известь-пушонку из расчета на 1 л воды 18 г извести. Введение в состав пенообразователя небольшого количества водного раствора сульфитно-спиртовой барды с плотностью 1,04 повышает стойкость пены.

в. Приготовление водно-алюминиевой суспензии. С целью активизации алюминиевой пудры и лучшего перемешивания с раствором производят ее обработку поверхностно-активными веществами. Непрокаленную алюминиевую пудру ПАК-3 или ПАК-4 смешивают с раствором ССБ, канифольного мыла и т. п.

1. Смешивание производят в следующем порядке. В сосуд емкостью 7—10 л (при лабораторных исследованиях 0,5—1 л) осторожно всыпают необходимое количество пудры, затем вливают раствор поверхностно-активного вещества в количестве 5% (из расчета на сухое вещество) от количества алюминиевой пудры и 1—3 л (при лабораторных исследованиях 0,3—0,5 л) воды. После тщательного перемешивания в течение 2—4 мин, когда все частицы пудры будут смочены раствором, суспензия считается готовой.

2. Подбор состава теплоизоляционного ячеистого бетона производят для получения изделий заданных средней плотности и прочности при возможно меньшем расходе вяжущего и порообразователей.

Исходными данными для подбора являются заданные средняя плотность образцов в сухом состоянии и кубиковая прочность их при сжатии, а также вид порообразователя и сырьевых материалов.

Для получения ячеистого бетона с заданными показателями свойств опытным путем устанавливают водотвердое отношение (В/Т), расход порообразователя и количественное соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим веществом ($P_к : P_{вяж} = C$).

Для пробных замесов ячеистого бетона соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим веществом принимают по табл. 14.

Работа по подбору состава ячеистого бетона состоит из следующих этапов: 1) определение исходного водотвердого отношения (В/Т); 2) расчет расхода материалов на один замес массы исходного состава; 3) приготовление пробных замесов и формование образцов; 4) тепловлажностная обработка образцов по заданному режиму; 5) испытание образцов и расчет окончательного состава ячеистого бетона.

За исходные В/Т принимают такие величины, которые соответствуют значениям текучести раствора, приведенным в табл. 15.

Текучесть раствора определяют по его расплыву (в см), используя прибор Суттарда, который состоит из медного или латунного полого цилиндра с внутренним

Таблица 14

Вид ячеистого бетона	Значения C				
	1	2	3	4	5
Автоклавный с применением извести активностью 70%	2,4	2,7	3,0*	3,3	3,6
То же, с применением портландцемента или известково-шлакового цемента	0,75	1,0*	1,25	1,5	1,75
То же, с применением смешанного вяжущего или нефелинового цемента	1,0	1,25	1,5*	1,75	2,0
Неавтоклавный с применением портландцемента или смешанного вяжущего	0,5	0,75*	1,0	1,25	1,5

Примечания: 1. Значения C, отмеченные значком *, принимают за исходные.

2. Для извести с активностью A % варианты C находят умножением табличных данных на величину $A/70$.

3. Исходную долю извести (n) в смешанном цементно-известковом вяжущем принимают для автоклавных бетонов равной 50%, а для неавтоклавных — 25%.

Таблица 15

Средняя плотность ячеистого бетона в сухом состоянии, кг/м³	Пенобетон на цементе, извести, смешанном вяжущем	Газобетон на			
		портландцементе и смешанном вяжущем	извести	нефелиновом цементе	известково-шлаковом цементе
400	34	34	25	42	26
500	30	30	23	38	24
600	26	26	21	32	22
700	24	22	19	26	20
900	20	15	15	18	14

Примечание. Температура раствора для газобетона должна находиться в интервале от 37 до 43° С, для газосиликата — от 30 до 45° С, для пенобетона — от 20 до 40° С.

диаметром 5 см и высотой 10 см, стеклянного листа квадратной формы со стороной 45 см и листа бумаги с нанесенными на нем концентрическими окружностями через каждые 0,5 или 1 см, который во время проведения опыта подкладывают под стекло.

Перед испытанием цилиндр и стекло протирают мягкой тканью, смоченной чистой водой. Стекло кладут в

строго горизонтальном положении и ставят на него цилиндр так, чтобы внешний контур цилиндра совпал с окружностью диаметром 6 см. Испытуемый раствор наливают в цилиндр доверху и выравнивают поверхность раствора ножом или шпателем. Затем быстрым и точным движением поднимают цилиндр снизу вверх; раствор при этом растекается по стеклу в виде лепешки, диаметр которой обусловливается консистенцией смеси.

Для приготовления раствора требуется 0,4 кг сухой смеси (исходного состава) и 0,16—0,28 л воды.

Воду затворения для газобетона предварительно нагревают до температуры 70—80° С. Сухую смесь помещают в чашку и доливают к ней воду отдельными порциями до получения хорошо перемешанной сметанообразной массы.

В/Т как отношение массы воды затворения к массе сухой смеси принимают за исходное, если полученная текучесть раствора отклоняется от данных табл. 13 не более чем на ±1 см.

Расчет расхода материалов на 1 замес исходного состава. Расход минеральных составляющих ячеистой смеси и воды (в кг) на один замес определяют по следующим формулам:

вяжущего $P_{\text{вяж}} = \dfrac{\rho_{\text{сух}}}{K_{\text{с}}(1+C)} V$;

извести $P_{\text{и}} = P_{\text{вяж}}\, n$;

цемента $P_{\text{ц}} = P_{\text{вяж}} - P_{\text{н}}$;

кремнеземистого компонента $P_{\text{к}} = P_{\text{вяж}}\, C$;

гипса молотого двуводного $P_{\text{г}} = P_{\text{н}} \cdot 0{,}03$;

воды $B = (P_{\text{вяж}} + P_{\text{к}})$ В/Т,

где $\rho_{\text{сух}}$ — заданная средняя плотность ячеистого бетона в сухом состоянии, кг/л; $K_{\text{с}}$ — коэффициент увеличения массы сухой смеси в результате твердения вяжущего; V — объем замеса, л, равный объему форм, заполняемых из одного замеса, умноженному на коэффициент избытка смеси, принимаемый равным 1,05 для пенобетона и 1,1—1,15 для газобетона (при изготовлении лабораторных образцов коэффициент избытка смеси в обоих случаях принимают не менее 1,5); C — число частей кремнеземистого компонента, приходящихся на 1 часть вяжущего; n — доля извести в вяжущем; В/Т — водотвердое отношение.

При расчете расхода порообразователя (пенообразо-

вателя или газообразователя) предварительно находят величину пористости, которая должна создаваться порообразователем для получения ячеистого бетона заданной средней плотности

$$П_г = 1 - \frac{\rho_{сух}}{K_c}(W + В/Т),$$

где W — удельный объем сухой смеси, л/кг.

Количество газообразователя или пены теоретически должно быть таким, чтобы выделенный объем газа или введенный объем пены соответствовал пористости, найденной по формуле.

В действительности порообразователь не полностью используется на создание пористости в растворе, поэтому расход его ($P_п$) принимают больше, чем теоретически необходимый:

$$P_п = \frac{П_г}{K\alpha} V,$$

где K — выход пор (количество газа или объем пены, получаемый из 1 кг порообразователя), л/кг; α — коэффициент использования порообразователя.

Исходные величины K_c, W, K и α принимают следующие: $K_c = 1{,}1$; $\alpha = 0{,}85$; $K = 18 \div 20$ л/кг при использовании пенообразователя и $K = 1390$ л/кг при использовании алюминиевой пудры; W — по табл. 16 в зависимости от вида кремнеземистого компонента, вида вяжущего вещества и их соотношения.

Таблица 16

Вид кремнеземистого компонента	Вид вяжущего вещества							
	портланд-цемент		смешанное вяжущее (Ц:И=1:1), нефелиновый цемент		известь		известково-шлаковый цемент	
	C	W	C	W	C	W	C	W
Песок ($\rho = 2{,}65$)	1	0,34	1,5	0,36	3	0,38	1	0,32
Зола ($\rho = 2{,}36$)	1	0,38	1,5	0,40	3	0,40	1	0,36
Легкая зола ($\rho = 2{,}0$)	1	0,44	1,5	0,48	3	0,48	1	0,42

Алюминиевую пудру вводят в раствор в виде водноалюминиевой суспензии. Для ее приготовления на 1 вес. ч. алюминиевой пудры расходуется 0,05 вес. ч.

сухого поверхностно-активного вещества (канифольного мыла, ГК, ССБ или др.) и 10—15 вес. ч. воды. Эту воду учитывают в общем количестве воды затворения.

Пена по своему качеству должна удовлетворять следующим требованиям: выход пор (K) — не ниже 15; стойкость, характеризуемая коэффициентом использования пены,— не ниже 0,8.

Для получения пены требуемого качества опытным путем определяют соотношение «вода: пенообразователь» (по объему). Исходные значения этого соотношения для различных пенообразователей следующие: смолосапониновый — 8, клееканифольный — 5, пенообразователь КИСК — 9. Пределы изменения соотношения «вода : пенообразователь» составляют: для клееканифольного ± 1, для остальных ± 2.

Выход пор для пенообразователя определяют из отношения объема пены к ее массе. Объем пены измеряют в полом цилиндре диаметром 5—7 см и высотой 10—15 см.

Выход пор при использовании алюминиевой пудры устанавливают расчетным путем

$$2Al + 3Ca(OH)_2 + 6H_2O \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O + 3H_2\uparrow$$

Из этого следует, что при реакции 54 г алюминия с известью выделяется 6 г водорода. Одна грамм-молекула газа занимает при нормальных условиях объем в 22,4 л, следовательно, 1 г алюминия выделяет при нормальных условиях

$$3 \cdot 22{,}4/54 = 1{,}244 \text{ л водорода.}$$

При температуре смеси t, °С, объем водорода, выделяемого 1 г алюминия, вычисляют по закону Гей-Люссака

$$K = 1{,}244(1 + t/273) \text{ л/г.}$$

Приготовление замесов и формование образцов. После расчета исходного состава приступают к приготовлению замесов с целью выявления оптимального В/Т. Для этого готовят 5 замесов из исходного состава, отличающихся друг от друга В/Т на $\pm 0{,}02$ и $\pm 0{,}04$. Из каждого замеса формуют три образца.

В этих и последующих замесах определяют плотность раствора ($\rho_р$, кг/л), контролируют его температуру (при изготовлении газобетона), а также опреде-

ляют среднюю плотность ячеистой смеси ($\rho_я$, кг/л). По полученным значениям $\rho_р$ и $\rho_я$ в каждом замесе вычисляют фактическую величину пористости, создаваемую порообразователем:

$$П_г=(\rho_р-Р_п)/\rho_я,$$

где $Р_п$ — расход порообразователя на 1 л ячеистого бетона (для газобетона этой величиной можно пренебречь), кг.

Водотвердое отношение состава, не имеющего осадки после его поризации и показавшего наибольшую величину $П_г$, принимают за оптимальное.

Для выявления оптимальной температуры раствора (при подборе состава газобетона) готовят еще пять замесов с оптимальным В/Т, изменяя температуру раствора в пределах ±3 и $\pm7°$ С от исходной (40° С).

Оптимальное соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим веществом находят изменением числа C, приготавливая пять замесов по данным табл. 12 с оптимальными значениями В/Т, и температуры раствора.

Расход порообразователя для этих замесов уточняют путем умножения расчетного расхода его (по исходным величинам α и K) на поправочный коэффициент K', вычисляемый из соотношения требуемой пористости ($П_г$) к пористости, фактически получившейся в замесе, по которой принято оптимальное В/Т и оптимальная температура.

Из каждого замеса формуют 3—6 образцов размером $7\times7\times7$ или $10\times10\times10$ см.

Перед формованием образцов необходимо хорошо очистить и смазать формы, а при формовании газобетонных образцов еще и подогреть их до температуры 40—45° С.

Степень заполнения форм газобетонной смесью устанавливают расчетом по массе или по объему. В первом случае определяют массу газобетонной смеси ($m_{см}$), укладываемой в форму:

$$m_{см}=1{,}1(1-П_г)\rho_р V_ф,$$

где $V_ф$ — объем формы, л.

Во втором случае определяют высоту заливки (h) в долях или в процентах по высоте формы $h=1{,}1(1-П_г)$.

Пенобетонную смесь приготовляют в следующем порядке. В пеновзбиватель лабораторной пенобетономешалки вливают приготовленный заранее водный раствор пенообразователя в количестве 5—6% от объема барабана пеновзбивателя и включают мотор. Время взбивания пены обычно не превышает 5—6 мин. Затем отвешивают определенное расчетом количество пены и вводят его в раствор при непрерывном перемешивании, которое заканчивают после получения однородной массы.

Среднюю плотность пеномассы ($\rho_я$) определяют путем взвешивания ее в сосуде емкостью 0,5—1 л.

Газобетонную смесь готовят следующим образом. Сначала приготавливают водно-алюминиевую суспензию по методике, указанной выше. Затем полученную водно-алюминиевую суспензию вводят в уже приготовленный раствор при непрерывном перемешивании массы в течение 2—2,5 мин.

Для определения средней плотности газобетонной смеси производят ее укладку в заранее подготовленные сосуды кубической формы и емкостью 0,5—1 л на высоту, определенную предварительным расчетом.

После окончания вспучивания, примерно через 1 ч, ножом или металлической линейкой удаляют избыток вспученной массы (горбушку), взвешивают сосуды с оставшейся массой и вычисляют ее среднюю плотность.

Тепловлажностная обработка образцов из ячеистого бетона. После формования образцы выдерживают при температуре 20—25° С в течение 6—8 ч для пенобетона и 4—6 ч — для газобетона*, после чего производят их тепловлажностную обработку в лабораторном автоклаве или в пропарочной камере.

Общий цикл автоклавной обработки складывается из трех периодов: I — подъем температуры и давления; II — изотермическая выдержка при максимальных температуре и давлении; III — снижение давления до атмосферного.

Рекомендуемые режимы автоклавной обработки образцов: 1) для теплоизоляционного ячеистого бетона средней плотности до 500 кг/м³ — $3+8+3$ ч при максимальном давлении пара 0,9 МПа и $3+6+3$ ч при 1,3 МПа; 2) для теплоизоляционно-конструктивного бе-

* У образцов из газобетона через 3—4 ч выдерживания необходимо срезать горбушку.

тона со средней плотностью более 500 кг/см³ — 6 + 8 + 6 ч при давлении 9 МПа и 6 + 6 + 6 при давлении 13 МПа.

Режим пропаривания при атмосферном давлении обычно принимают следующий: подъем температуры от 30 до 90° С — 3 ч; изотермическая выдержка при 90° С — 14 ч и снижение температуры до 50° С — 2 ч.

Испытание образцов и расчет окончательного состава ячеистого бетона. После автоклавной обработки образцы вынимают из форм, сушат при температуре 105—110° С до постоянной массы и испытывают (определяют среднюю плотность и предел прочности при сжатии). При испытании на прочность образцов размером 7×7×7 см необходимо полученные результаты привести к показателям образцов с размером ребра 10 см путем умножения числового значения предела прочности образца с ребром 7 см на поправочный коэффициент, который в данном случае будет равен 0,9.

Результаты работы по подбору состава ячеистого бетона рекомендуется записывать по следующей форме:

Заданная средняя плотность ячеистого бетона, кг/м³	Соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим	Доля извести в вяжущем веществе	В/Т	Температура раствора, °С	$\rho_р$, кг/м³	$\rho_я$, кг/м³	Фактическая средняя плотность ячеистого бетона, кг/м³	$R_{сж}$, МПа

Состав шихты, при котором образцы показали наибольшую прочность, но не менее заданной, принимают за оптимальный.

Для расчета окончательного расхода материалов на 1 м³ или на один замес для получения ячеистого бетона заданной средней плотности необходимо уточнить принятые при расчете исходные величины K, W, $K_с$ и α.

Выход пор (K) для пенообразователя находят из отношения объема пены к ее массе, а выход пор газообразователя не уточняют.

Удельный объем сухой смеси (W) находят по средней плотности раствора и водотвердому отношению

$$W = \frac{(1 + В/Т)}{\rho_р} - В/Т.$$

Коэффициент увеличения массы сухой смеси за счет связанной воды $(K_с)$ уточняют по фактическим значениям $\rho_{сух}$ и $\rho_я$

$$K_с = \frac{\rho_{суп}}{\rho_я - m_п}(1 + В/Т),$$

где $m_п$ — расход порообразователя в кг на 1 л ячеистого бетона (для газобетона этой величиной пренебрегают).

Коэффициент использования порообразователя (α) находят по фактическим величинам $П_г$, K и V путем расчета

$$\alpha = \frac{П_г}{KP_п} V.$$

Пример расчета состава ячеистого бетона. Требуется получить ячеистый бетон с применением смешанного (цементно-известкового) вяжущего со средней плотностью 500 кг/м³ с возможно большей прочностью. Объем 1 замеса — 10 л.

Исходные материалы; портландцемент марки 500, молотая известь-кипелка активностью 70%, зола-унос ($\rho_{уд}$ = 2,06 г/см³), порообразователь — алюминиевая пудра или КИСК, поверхностно-активное вещество — мылонафт, замедлитель скорости гидратации извести-кипелки — молотый двуводный гипс.

1. Пользуясь соответствующими формулами, подсчитываем расход материалов на 1 замес с учетом следующих исходных величин: $K_с = 1{,}1$; $C = 1{,}5$ и $n = 0{,}5$.

По табл. 15 находим, что расплыв массы (текучесть раствора) должен быть равен 30 см. Опытным путем устанавливаем, что такая текучесть раствора имеет место при В/Т = 0,64.

По табл. 16 находим, что при применении данных материалов W = 0,48 л/кг; для газобетона K = 1,39 л/г, а для пенобетона K = 18 л/кг, или 0,018 л/г; α = 0,85.

Установив эти величины, производим расчет расхода материалов:

Вяжущего	$P_{вяж} = \frac{0,5}{1,1\ (1 + 1,5)} 10 = 1,8$ кг
Извести	$P_и = 1,8 \cdot 0,5 = 0,9$ кг
Цемента	$P_ц = 1,8 - 0,9 = 0,9$ кг
Кремнеземистого компонента	$P_к = 1,8 \cdot 1,5 = 2,7$ кг
Молотого двуводного гипса	$P_г = 0,9 \cdot 0,03 = 0,027$ кг
Воды	$B = (1,8 + 2,7)\ 0,64 = 2,88$ л

Пористость, которую необходимо создать с помощью порообразователя для получения заданной средней плотности ячеистого бетона:

$$П_г = 1 - \frac{0,5}{1,1}(0,48 + 0,64) = 0,51.$$

Зная пористость, определяем расход порообразователей: алюминиевой пудры

$$P_п = \frac{0,51}{1,39 \cdot 0,85}\ 10 = 4,32 \text{ г};$$

мылонафтана для приготовления водно-алюминиевой суспензии:

$$P_м = 4,32 \cdot 0,05 = 0,22 \text{ г};$$

водного раствора пенообразователя (пены) для пенобетона:

$$P_п = \frac{0,51}{18 \cdot 0,85}\ 10 = 0,333 \text{ кг}.$$

2. Готовим пять замесов с В/Т, равным 0,60; 0,62; 0,64; 0,66 и 0,68. Допустим, что В/Т = 0,64 оказалось оптимальным.

Приготовив еще пять замесов с различной температурой, определяем, что при температуре 40° С наблюдалось максимальное вспучивание массы.

3. С целью установления оптимального соотношения между кремнеземистым компонентом и вяжущим веществом готовим пять замесов при В/Т = 0,64 и при температуре раствора 40° С, при этом принимаем величину C в следующих пределах: 1,0, 1,25; 1,5; 1,75; 2,0.

Предположим, что после испытания образцов на прочность состав с $C = 1,5$ показал наибольшую прочность.

4. По фактическим значениям после проведения соответствующих измерений уточняем величины W, K_c и α.

Допустим, что фактические замеры показали, кг/л:

Плотность раствора	$\rho_р = 1,45$
Средняя плотность газобетонной смеси	$\rho_я = 0,775$
Средняя плотность пенобетонной смеси	$\rho_я = 0,808$
Средняя плотность бетона в сухом состоянии	$\rho_{сух} = 0,544$

Поскольку ячеистый бетон получился тяжелее заданного, то в его состав необходимо внести коррективы.

Величину удельного (абсолютного) объема сухой смеси (W) уточняем по фактической плотности раствора:

$$W = \frac{1 + В/Т}{\rho_р} - В/Т = \frac{1 - 0,64}{1,45} - 0,64 = 0,49 \text{ л/кг}.$$

Фактически полученную пористость ($П_г$) рассчитываем по фактической плотности раствора и по средней плотности полученной ячеистой смеси за вычетом массы пенообразователя, т. е. если средняя плотность пенобетонной смеси равна 0,808, то без учета массы пенообразователя она будет равна 0,808—0,333 = 0,775.

$$П_г = 1 - \frac{0,775}{1,45} = 0,47 - \text{для пенобетона (газобетона)}.$$

Затем уточняем коэффициент использования порообразователя. Определяем α для газобетона, для чего предварительно вычисляем фактический объем газобетонной смеси по ее массе и средней плотности:

$$V = \frac{P_{вяж} + P_к + P_в}{\rho_я} = \frac{7,41}{0,775} = 9,562 \text{ л}.$$

Тогда коэффициент использования порообразователя (ПАК-3)

$$\alpha_г = \frac{П_г}{P_п K} V = \frac{0,47}{1,39 \cdot 4,32} 9,562 = 0,75.$$

Определяем α в пенобетоне, предварительно вычислив объем пенобетонной смеси без учета объема пены:

$$V = \frac{7,41}{0,775} = 9,562 \text{ л.}$$

$$\alpha_{п} = \frac{0,47}{18 \cdot 0,333} 9,562 = 0,75.$$

Уточняем величину коэффициента связанной воды

$$K_{с} = \frac{\rho_{сух}}{\rho_{я}} (1 + В/Т) = \frac{0,544}{0,755} 1,64 = 1,15.$$

5. По уточненным значениям $K_{с}$, W, $П_{г}$ и α производим окончательный расчет расхода порообразователей.

Требуемая величина пористости составит

$$П_{г} = 1 - \frac{\rho_{сух}}{K_{с}} (W + В/Т) = 1 - \frac{0,5}{1,15} (0,49 + 0,64) = 0,495.$$

Расход ПАК-3 на 1 замес по уточненным данным

$$P_{п} = П_{г}/K = \frac{0,495}{1,39 \cdot 0,75} 10 = 4,75 \text{ г.}$$

Расход рабочего раствора КИСК по уточненным данным

$$P_{п} = \frac{0,495}{18 \cdot 0,75} 10 = 0,367 \text{ кг.}$$

Окончательные данные по составу ячеистого бетона рекомендуется записывать по следующей форме:

Наименование материалов	Расход материалов, кг	
	на 1 замес	на 1 м³
Вяжущее	1,8	180
Известь	0,9	90
Портландцемент	0,9	90
Кремнеземистый компонент	2,7	270
Молотый двуводный гипс	0,027	2,7
Вода (общее количество)	2,88	288
Газообразователь (ПАК-3), г	4,75	475
Пенообразователь (рабочий раствор), кг	0,367	36,7
Поверхностно-активное вещество для приготовления водно-алюминиевой суспензии ($P_{п}$ 0,05), г	0,24	24

Лабораторное оборудование и приборы: 1. Пенобетономешалка емкостью 10—15 л. 2. Чаша для затворения (сферическая) с лопаткой. 3. Формы для образцов кубические размером $7 \times 7 \times 7$ и $10 \times 10 \times 10$ см. 4. Вискозиметр Суттарда. 5. Лабораторный автоклав. 6. Лабораторная пропарочная камера. 7. Сушильный шкаф. 8. Пресс гидравлический 15-тонный или 7,5-тонный. 9. Весы аналитические 1-го класса (А-200) с разновесами. 10. Весы технические 2-го класса (Т-200 и Т-1000) с разновесами. 11. Измерительный инструмент. 12. Мерная посуда. 13. Эксикатор для хранения извести-кипелки.

Подбор состава ячеистого бетона можно производить по методу, разработанному во ВЗИСИ под руководством К. Э. Горяйнова (см. Горяйнов К. Э. и др. «Технология минеральных теплоизоляционных материалов и легких бетонов». Стройиздат, 1966 г.).

Работа 2. Исследование влияния тонкости помола кремнеземистого компонента на водопотребность формовочных масс и физико-механические свойства ячеистого бетона

Цель данной работы заключается в том, чтобы наглядно показать студентам влияние тонкости помола кремнеземистого компонента на некоторые технологические параметры производства теплоизоляционных ячеистых бетонов и их главные свойства. В частности, студенты должны выявить изменение водопотребности формовочных масс в зависимости от тонкости помола кремнеземистого компонента, а также установить влияние этого технологического фактора на прочность готовых изделий.

Как известно, прочность ячеистых бетонов зависит от многих факторов: от активности и вида вяжущего вещества, величины В/Т, состава формовочной смеси, степени измельчения и вида кремнеземистого компонента, способа формования изделия, режима и способа приготовления формовочной массы, режима и способа тепловлажностной обработки и др.

Для того чтобы исключить влияние этих многочисленных факторов и выявить влияние одного из них, в частности тонкости помола кремнеземистого компонента, необходимо проводить исследования на одних и тех

же составах формовочных масс, при использовании одного и того же вяжущего вещества, применять одни и те же способы приготовления формовочной смеси и формования образцов и подвергать эти образцы тепловлажностной обработке по одинаковому режиму, изменяя лишь степень измельчения кремнеземистого компонента и зависящую от нее формовочную влажность масс.

Данная работа может выполняться одной бригадой студентов в полном объеме или несколькими бригадами, выполняющими отдельные ее части, с последующим обобщением полученных результатов всей группой (подгруппой). Варианты заданий для выполнения работы 2 по ячеистым бетонам приведены в табл. 17.

Таблица 17

Номер подгруппы	Номер бригады	Вид ячеистого бетона	Заданная средняя плотность, кг/м³	Вид кремнеземистого компонента	Степень измельчения кремнеземистого компонента, см²/г
I	1	Газосиликат	450	Горный песок	Грубый помол (1500)
	2	То же	450	То же	Средний помол (2000)
	3	»	450	»	Тонкий помол (2500)
	4	Пенобетон на смешанном вяжущем	400	Речной песок	Грубый помол (1500)
II	5	То же	400	То же	Средний помол (2000)
	6	»	400	»	Тонкий помол (2500)

Порядок выполнения работы. Получив задание и сырьевые материалы, каждая бригада производит следующие определения.

1. По методике, изложенной в I части практикума (гл. II, § 1), определяет удельную поверхность выданного преподавателем кремнеземистого компонента, используя для этого имеющийся в лаборатории один из типов поверхностномера.

2. Пользуясь методикой, изложенной в данной главе (работа № 1), на приборе Суттарда устанавливают водопотребность формовочной массы для данного состава ячеистого бетона (состав бетона принимается по результатам работы 1 или подбирается предварительно).

3. Пенобетонную или газобетонную смеси приготавливают и формуют по три образца-близнеца (способ приготовления формовочных масс и формования образцов все бригады данной подгруппы применяют одинаковые).

4. После тепловлажностной обработки (на следующих занятиях) производят испытание образцов, определяя их среднюю плотность и средний предел прочности.

По полученным бригадами результатам каждая подгруппа студентов строит общие графики зависимости:

а) удельная поверхность кремнеземистого компонента (ось абсцисс) — водопотребность формовочной массы (ось ординат);

б) удельная поверхность кремнеземистого компонента (ось абсцисс) — предел прочности при сжатии образцов (ось ординат).

После окончания работы каждый студент составляет отчет о проведенной исследовательской работе с общими выводами и технико-экономическими соображениями.

Запись результатов, полученных бригадой, рекомендуется производить по следующей форме:

Вид ячеистого бетона	Вид песка	Удельная поверхность песка, см²/г	Заданная средняя плотность бетона, кг/м³	Фактическая средняя плотность бетона, кг/м³	Водопотребность формовочной смеси, %			$R_{сж}$, МПа		
					1	2	3	1	2	3

Средняя величина из трех определений . . .

Для составления общей таблицы результатов и последующего построения графиков каждая бригада представляет свои данные: среднюю величину водопотребности формовочных масс с применением кремнеземистого компонента данной степени измельчения; средние величины (по испытанию трех образцов) плотности (объем-

ной массы) сухих образцов и предела их прочности при сжатии.

Запись результатов, полученных подгруппой, рекомендуется производить по следующей форме:

Вид ячеистого бетона	Номер подгруппы					Примечание
	номер бригады	вид кремнеземистого компонента	удельная поверхность песка (золы), $см^2/г$	средняя плотность образцов в сухом состоянии, $кг/м^3$	предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа	
	1 2 3					

Лабораторное оборудование и приборы, применяющиеся для выполнения данной работы те же, которые применялись в работе 1.

Кроме этих приборов в данной работе необходим поверхностномер типа ПСХ-2.

Работа 3. Влияние вибрационной обработки на процесс газовыделения в газобетонных смесях

Метод вибровспучивания в производстве изделий из ячеистого бетона дает ряд технико-экономических преимуществ перед обычным способом. Он позволяет значительно уменьшить влажность формовочной массы, сократить время выдержки изделий перед автоклавной обработкой, повысить прочность готовых изделий и в значительной мере интенсифицировать процесс газообразования, а также полнее использовать газообразователь.

Целью данной лабораторной работы является выявление влияния вибрационной обработки формовочных масс на процесс газообразования в этих массах, происходящий в результате химического взаимодействия между алюминиевой пудрой и известью, и определение времени вибрирования при вспучивании масс заданного состава.

Для проведения этого исследования используют специальные газометрические приборы. Схема одного из таких приборов показана на рис. 54.

Прибор состоит из цилиндра с двойными стенками, между которыми наливается вода заданной температуры для создания определенных температурных условий. Во внутренний цилиндр *1*, емкость которого составляет 1,5—2 л, помещают испытуемую газомассу. Внешний цилиндр *2* жестко крепится к лабораторной виброплощадке *13*. Оба цилиндра закрываются крыш-

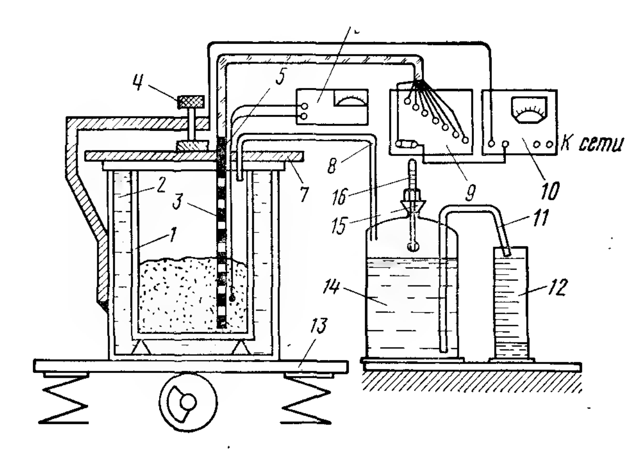


Рис. 54. Газометрический прибор

кой, которая прижимается к их верхним краям с помощью специального прижимного винта *4*. Для создания герметичности под крышку подкладывают резиновую прокладку *7*. В крышке и прокладе имеются три отверстия, в которые плотно вставлены стеклянная трубка *8*, по которой отводится образовавшийся газ (водород), термопара *5*, соединенная с потенциометром *6* и служащая для измерения температуры массы, и полая эбонитовая трубка *3* с запаянным нижним концом. В эбонитовой трубке через 1 см вделаны контакты, имеющие самостоятельные выводы и служащие для определения высоты подъема массы во время ее вспучивания. Для регистрации высоты массы предусмотрено два типа приборов: гальванометр *9* и головные телефоны, которые сигнализируют о замыкании очередного контакта звуковым импульсом, щит для подключения питания *10*.

В комплект прибора входит трехгорловая склянка емкостью 1,5 л, которая служит резервуаром для воды. Воронка с пробкой *15* предназначена для заполнения сосуда водой. По трубке *8* образовавшийся в цилиндре *1* газ поступает в склянку *14* и вытесняет находящуюся там воду, которая по стеклянной трубке *11* стекает в мерный цилиндр *12*. По количеству воды в цилиндре судят об объеме газа, выделившегося за данный промежуток времени. Термометр *16* служит для измерения температуры газа.

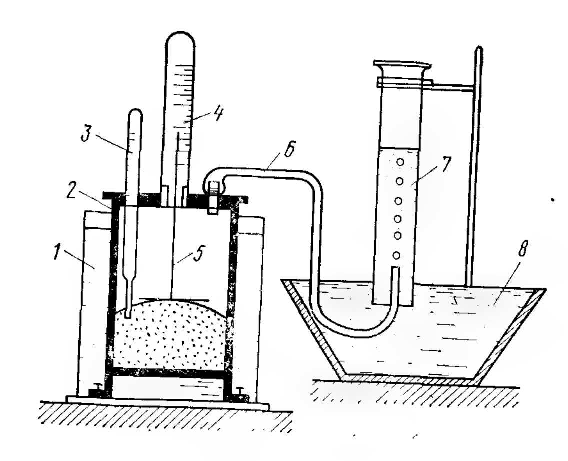


Рис. 55. Схема упрощенного газометрического прибора

На рис. 55 показана схема другого, более простого газометрического прибора, изготовление которого не представляет особых трудностей. Этот прибор состоит из термостата *1*, представляющего собой металлический цилиндр, цилиндра *2* с навинчивающейся крышкой, служащего резервуаром для испытуемой смеси, резиновой трубки *6* для отвода газа, резервуара для воды *8* и мерного цилиндра *7*.

В крышке цилиндра *2* имеются три отверстия, в которые плотно вставляются термометр *3*, резиновая трубка *6* и пробирка с делениями *4*. В последнем отверстии и внутри пробирки свободно ходит шток *5*, с помощью которого измеряется высота подъема массы. Этого приспособления может и не быть, так как высоту вспученной массы можно измерять с помощью прорези, сделанной в корпусах термостата и цилиндра *2* и застекленной прозрачным материалом с нанесенными на нем делениями.

Работа выполняется двумя подгруппами, каждая из которых состоит из двух бригад студентов. Подгруппа I исследует газовыделение в газобетоне, а подгруппа II — в газосиликате. Бригады 1 и 3 проводят опыты по определению интенсивности газовыделения при обычном вспучивании исследуемой массы, а бригады 2 и 4 — при вибровспучивании.

Варианты заданий для подгрупп и бригад приведены в табл. 18.

Таблица 18

Номер: варианта	Номер: подгруппы	Номер: бригады	Вид ячеистого бетона	Способ вспучивания	Примерные значения В/Т
1	I	1	Газобетон	Обычное вспучивание	0,58—0,62
2		2	»	Вибровспучивание	0,32—0,34
3	II	3	Газосиликат	Обычное вспучивание	0,6—0,64
4		4	»	Вибровспучивание	0,34—0,36

Для проведения опытов необходимо приготовить газобетонную или газосиликатную смесь. При приготовлении смеси надо исходить из следующих соображений. Для удобства вычислений алюминиевую пудру следует брать в количестве 1 г (иначе при построении графика газовыделения надо будет производить перерасчет); количество сухих компонентов, необходимое для одного замеса,— 1 кг. Для приготовления газобетонной или газосиликатной смесей можно пользоваться составами, найденными при проведении лабораторной работы 1, или составами, заданными руководителями работы.

В результате проведения опытов каждая бригада должна получить следующие данные: скорость газовыделения в данной массе, объем выделившегося газа, а при вибровспучивании определить еще и время вибрационной обработки (ее начало и конец), необходимое

для вспучивания газобетонной или газосиликатной массы.

Опыт по изучению процесса газовыделения в обычных условиях слагается из следующих операций.

В соответствии с заданным составом смеси отвешивают необходимое количество сухих компонентов (цемента, извести и молотого песка) с таким расчетом, чтобы их общее количество составляло 1 кг, и 1 г алюминиевой пудры. Затем приготавливают водно-алюминиевую суспензию (см. работу 1). Сухие компоненты смеси затворяют водой, вручную тщательно перемешивают массу и вливают в нее приготовленную водно-алюминиевую суспензию, стремясь к тому, чтобы весь алюминий попал в приготавливаемую смесь. При приготовлении массы надо учесть воду, которая вводится в смесь вместе с водно-алюминиевой суспензией. После добавления алюминия тщательное перемешивание смеси продолжают в течение 1 мин, а затем быстро переносят готовую газомассу во внутренний цилиндр газометрического прибора и плотно закрывают крышку. Приготавливая газомассу, необходимо следить за ее температурой. Обычно температура в зависимости от вида вяжущего вещества должна находиться в пределах от 35 до 45° С. Вода, которой заполняется термостат прибора, должна иметь температуру на 5—7° С выше, чем начальная температура газомассы. Операции по приготовлению газомассы и ее укладке во внутренний цилиндр прибора надо производить быстро, с таким расчетом, чтобы с третьей минуты, считая от момента введения в массу алюминия, начать наблюдения за газовыделением. Опыт повторяют 2—3 раза и при построении графика скорости газовыделения пользуются средними значениями, вычисленными по результатам трех определений.

Обычно процесс газовыделения в газобетонных смесях при их начальной температуре 40° С продолжается в течение 30—40 мин, а в газосиликатных смесях 25—30 мин.

Результаты наблюдений рекомендуется записывать по следующей форме:

I опыт		II опыт		III опыт		Среднее значение	
время, мин	количество газа, см³	время, мин	количество газа, см³	время, мин	количество газа, см³	время, мин	количество газа, см³
1	—	1	—	1	—	1	—
2	—	2	—	2	—	2	—
3	—	3	—	3	—	3	—
. . .		. . .		. . .		. . .	
. . .		. . .		. . .		. . .	
40		40		40		40	

Средняя величина общего объема газа . . .

Обычно запись результатов, начиная с третьей минуты, считая от момента введения в смесь алюминиевой пудры, производят через каждые 30 с.

После окончания процесса газообразования, о чем свидетельствует прекращение выделения газа в течение 4—5 мин, прибор демонтируют и очищают внутренний цилиндр от массы, а затем подготавливают его к повторным испытаниям.

По полученным средним результатам строят график скорости газовыделения, откладывая по оси абсцисс время (мин), а по оси ординат — объем выделившегося газа при реакции 1 г алюминия (см³).

Наблюдение за газовыделением при вибрировании производят следующим образом. Приготавливают газомассу заданного состава и укладывают ее во внутренний цилиндр газометрического прибора. При этом следят за тем, чтобы начальная температура газомассы была бы такой же, как и массы, вспучивание которой осуществлялось при нормальных условиях (без вибрирования). Расхождение между значениями температуры масс в том и другом случае допускается не более чем ±2° С.

После укладки массы в цилиндр прибора производят операцию по его герметизации и через 3 мин, считая от момента введения в массу алюминия, включают виброплощадку и производят измерение количества выделяющегося газа через каждые 30 с, записывая резуль-

таты наблюдения по форме, приведенной выше. Опыт производят трижды и вычисляют средние величины объемов газа по результатам трех определений. Подсчитывают также общий объем выделившегося в течение опыта газа.

По полученным результатам строят график скорости газовыделения в данной массе.

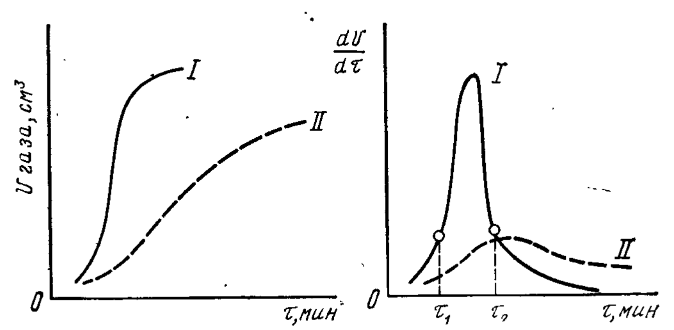


Рис. 56. Типичные кривые, характеризующие процесс газовыделения в газобетонной смеси

При проведении этой серии опытов необходимо предварительно отрегулировать лабораторную виброплощадку, т. е. установить нужную величину амплитуды колебаний, которая при частоте вибрации 50 Гц (3000 кол./мин) должна находиться в пределах 0,3—0,35 мм.

Замер частоты и амплитуды колебаний вибростола производят с помощью ручного вибрографа ВР-1.

После окончания опытов 1-я и 2-я, 3-я и 4-я бригады сводят попарно результаты своих опытов и строят общие графики, анализируя которые, делают выводы о влиянии вибрационной обработки на процесс газообразования в газобетонной или в газосиликатной смесях, освещая и технико-экономическую сторону вопроса.

Для установления времени вибрационной обработки газобетонных или газосиликатных масс строят дифференцированный график, откладывая по оси абсцисс время в минутах, а по оси ординат величину $\frac{dv}{d\tau}$. Этот график показывает, сколько газа выделяется в массе за данную минуту. Дифференцирование можно производить графически по кривой скорости газовыделения и

аналитически, пользуясь табличными данными. Типичные графики, характеризующие процесс газовыделения в газобетонных смесях, показаны на рис. 56 (*I* — вибровспучивание; *II* — обычное вспучивание). На кривой, полученной в результате дифференцирования кривой газовыделения, легко обнаружить область, которая характеризует наиболее интенсивное выделение газа в массе. Значения времени, ограничивающие эту область (τ_1 и τ_2), и будут являться рекомендуемым началом и концом вибрационной обработки данной массы, считая от момента введения в массу газообразователя (ПАК-3).

Лабораторное оборудование и приборы: 1. Виброплощадка лабораторная с регулируемой амплитудой. 2. Виброграф ручной (ВР-1). 3. Газометрический прибор. 4. Весы аналитические (А-200). 5. Весы технические (Т-200). 6. Секундомер. 7. Чаша сферическая с лопаткой для приготовления массы. 8. Мерная посуда.

ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ IV

Китайцев В. А. Технология теплоизоляционных материалов. М., 1974.

Технология минеральных теплоизоляционных материалов и легких бетонов / *Горяйнов К. Э., Дубенецкий К. Н., Васильков С. Г., Попов Л. Н.* М., 1976.

Справочник по производству теплоизоляционных и акустических материалов. М., 1976.

ГОСТ 5742—76. Плиты теплоизоляционные из ячеистого бтона.

ГЛАВА V. ПЕНОСТЕКЛО

Пеностеклом (другое название газостекло или ячеистое стекло) называют ячеистый теплоизоляционный материал, получаемый путем спекания смеси стекольного порошка и газообразователя с последующим отжигом вспученного материала.

Пеностекло обладает целым рядом ценных качеств: высокой прочностью, водостойкостью, биостойкостью, морозостойкостью, довольно низкой теплопроводностью. Коэффициент конструктивного качества пеностекла (к. к. к.) в три и более раз выше, чем у ячеистых бетонов, керамических и асбестосодержащих теплоизоляционных материалов.

Сырьевыми материалами для пеностекла являются: отходы стекольной промышленности (стекольный бой);

Таблица 19

Показатели основных физико-механических свойств пеностекла

Средняя плотность, кг/м³	Предел прочности при сжатии, МПа	Теплопроводность при 20° С, Вт/(м·°С)	Водопоглощение, % по объему
100	0,5—0,8	0,036	6—9
200	1,5—2,0	0,06	Не более 5
300	3,0—3,5	0,082	То же
400	5,0—6,0	0,105	»
500	9,0—10,0	0,144	»

специально приготовленный стекольный гранулят; газообразователи: антрацит, каменноугольный кокс, мел, мрамор, известняк, пиролюзит, окись азота.

При спекании шихты происходят следующие физико-химические процессы: размягчение и спекание отдельных частиц шихты; разложение или сгорание газообразователя и взаимодействие его с компонентами стекольной шихты, сопровождающееся выделением рабочего газа; вспучивание выделяющимся газом вязкой стекломассы, характеризующееся значительным увеличением ее объема и образованием пор в материале; закрепление образовавшейся пористой структуры и придание материалу прочности и твердости путем отжига, т. е. постепенного снижения его температуры.

Основными технологическими факторами, влияющими на формирование пористой структуры материала, являются следующие: вязкость массы в момент выделения газа; поверхностное натяжение стекломассы; интервал размягчения стекломассы; гранулометрический состав стекольного порошка; гранулометрический состав газообразователя; количество и вид газообразователя; режим обжига и отжига пеностекла.

Для получения равномерной ячеистой структуры пеностекла стекломасса во время выделения газа должна характеризоваться относительно высокой вязкостью в целях предотвращения разрыва образовавшихся ячеек, а также низким поверхностным натяжением во избежание объединения мелких пор в более крупные ячейки (самопроизвольный процесс снижения свободной поверхностной энергии системы). Снизить поверхностное

натяжение стекольной массы, стабилизировать образовавшуюся мелкопористую структуру удается за счет применения газообразователей, имеющих малое химическое сродство с жидкой фазой стекла, которые концентрируются на поверхности раздела фаз, между газообразной и жидкой фазами, и оказывают поэтому поверхностно-активное действие. Этим в основном и объясняется, что применение углеродистых газообразователей позволяет получать наиболее качественное пеностекло с замкнутыми мелкими порами. Большинство минеральных газообразователей, и в первую очередь карбонатных, характеризуются большим химическим сродством к стеклу и поэтому не могут оказывать на стекольную ячеистую массу стабилизирующего воздействия. Этим объясняется открытый вид пор и большое водопоглощение пеностекла, полученного с применением карбонатных газообразователей.

Стекломассы с широким интервалом размягчения, так называемые «длинные» стекла, легче вспучивать, чем с малым интервалом размягчения (чем «короткие» стекла). Применение длинных стекол в бóльшей степени позволяет установить соответствие между скоростью процесса размягчения стекломассы и процессом выделения рабочего газа. Кроме того, длинные стекла, как правило, характеризуются меньшим поверхностным натяжением, чем короткие, поэтому для производства ячеистого стекла предпочтительнее применять длинные стекла, такие, как, например, свинцовые.

Зерновой состав стекольного порошка и газообразователя в значительной степени определяет характер и качество пористой структуры пеностекла. Чем мельче зерна стекольного порошка и газообразователя, тем выше их реакционная способность, тем более полно и равномерно протекает процесс вспучивания, тем мельче и равномернее пористость и ниже средняя плотность материала.

Увеличение в составе шихты газообразователя влечет за собой снижение средней плотности пеностекла. Однако при этом, как правило, увеличивается средний диаметр пор, снижается коэффициент конструктивного качества материала, поэтому введение в шихту газообразователя в количестве более 3—5% (по массе) не рекомендуется.

Вид применяемого газообразователя должен согласовываться с целым рядом факторов: температурой размягчения (спекания) стекольного порошка, интервалом вязкости стекломассы, требуемым видом пористости материала, требуемой его окраской, доступностью и стоимостью газообразователя.

Газообразователь не должен выделять газовую фазу при температуре ниже, чем температура размягчения стекольного порошка, что исключало бы вспучивание стекломассы. Температура выделения рабочего газа должна быть примерно на 100° С выше температуры размягчения стекольного порошка. Парциальное давление газовой фазы должно нарастать постепенно и по возможности в широком температурном интервале, совпадающем с температурным интервалом размягчения стекломассы.

Средняя плотность пеностекла уменьшается с повышением температуры и увеличением продолжительности процесса спекания. Однако следует учитывать, что при увеличении продолжительности спекания количество сообщающихся пор обычно возрастает и тем быстрее, чем мельче стекольный порошок. К образованию сообщающихся пор может привести также неправильный режим отжига. При этом за счет возникающих внутренних напряжений, превышающих структурную прочность материала, образуются трещины в стенках пор, что приводит к снижению прочности пеностекла.

Работа 1. **Исследование влияния вида и количества газообразователя на кинетику вспучивания стекломассы и основные свойства пеностекла**

При выполнении данной работы подгруппа студентов делится на пять бригад, которые получают задания в соответствии с данными табл. 20.

Каждая бригада на заданных ей составах производит следующие опыты: исследует кинетику вспучивания стекломассы в зависимости от количества газообразователя в шихте; из полученного пеностекла на заданных составах готовит образцы и испытывает их, определяя среднюю плотность, предел прочности при сжатии, а также исследует пористую структуру материала.

При выполнении данной работы, в целях получення сравнимых результатов, рекомендуется каждой бригаде

Таблица 20

Номер бригады	Вид газообразователя	Количество газообразователя по массе, %			Температура спекания, °С
		1	2	3	
1	Пиролюзит (двуокись марганца MnO_2)	1,0	3,0	5,0	680—720
2	Натриевая селитра ($NaNO_3$)	1,0	3,0	5,0	720
3	Известняк, мрамор, мел	0,5	1,0	1,5	750—800
4	Антрацит	1,0	2,0	3,0	770—780
5	Каменноугольный кокс	0,5	1,5	2,5	720—850

выдавать один и тот же стекольный бой с одинаковым гранулометрическим составом.

а. Исследование кинетики вспучивания стекломассы производится на специальном приборе по методике Ф. Шилла *. Прибор представляет собой разъемную цилиндрическую форму из жаростойкого материала с внутренним диаметром 47 и высотой 70 мм. Крышка формы имеет в центре отверстие диаметром 2,5 мм, через которое вводится хромоникелевая или танталовая проволока с закрученным в виде спирали нижним концом. При испытании спираль опирается на поверхность исследуемой шихты, а верхний, прямой конец проволоки, свободно перемещается вдоль миллиметровой линейки. Такой прибор позволяет регистрировать изменение высоты образца во времени с точностью до 0,5 мм. На основании данных, полученных в результате наблюдений, строят кривые вспучивания в координатах: «время — температура — высота образца», а также фиксируют максимальную высоту вспучивания стекломассы.

Для проведения исследования стекольный порошок, полученный размолом стекольного боя в шаровой мельнице с фарфоровыми мелящими телами, просеивают через сита с 2500 отверстий в 1 см^2, а газообразователь — через сито с 6400 отверстий в 1 см^2. Тщательным перемешиванием стекольного порошка с газообразователем готовят шихту определенного состава (в соответствии с данными табл. 20).

* *Шилл Ф.* Пеностекло. Пер. с чешск. М., 1965.

20—30 г шихты помещают в цилиндр прибора Шилла, внутренние стенки которого предварительно смазывают меловой пастой. Для равномерного распределения и уплотнения шихты цилиндр со смесью подвергают кратковременной вибрации на лабораторном вибростоле при амплитуде 0,1—0,25 мм. После этого собирают прибор (вводят в него проволоку, с помощью которой производится замер высоты шихты в цилиндре) и помещают его в лабораторную печь, нагретую до температуры, превышающей предполагаемую температуру спекания примерно на 50° С. Для получения равномерной структуры пеностекла температурный градиент по всей высоте цилиндра должен быть в пределах 20—30° С, иначе из-за гидростатического давления расплавленной стекломассы размеры ячеек пор пеностекла будут возрастать от дна к верху формы.

При наблюдении за вспучиванием стекломассы результаты (температуру и высоту массы) рекомендуется записывать через каждые 30 с. По окончании спекания, которое будет характеризоваться прекращением увеличения высоты массы, печь охлаждают (резко) до температуры 600° С, при которой осуществляют отжиг образца в течение 1 ч; затем печь отключают от электросети и образец постепенно охлаждают до температуры 30—50° С. Полученный образец используют для изучения его пористой структуры.

Таким образом производят опыты на всех заданных составах шихты.

б. Исследование влияния вида и количества газообразователя на среднюю плотность, прочность и пористость пеностекла. Для проведения этой части лабораторной работы из всех трех заданных составов каждая бригада изготовляет образцы путем вспучивания 30—40 г шихты (для одного образца) в огнеупорных лабораторных тиглях и последующего выпиливания из вспученной и охлажденной массы кубиков с размером 5 × 5 × 5 см.

При вспучивании и отжиге образцов необходимо соблюдать все те условия термической обработки, которые были приняты при исследовании кинетики вспучивания пеностекла.

Изготовленные образцы подвергают испытаниям на среднюю плотность (один образец) и прочность при сжатии (два образца). Изучение пористой структуры производят на образцах, полученных при исследовании кинетики вспучивания стекломассы. Таким испытаниям подвергают образцы всех трех заданных составов (методика определения средней плотности, прочности и пористой структуры изложена в ч. I практикума.

По полученным результатам каждая бригада строит соответствующие графики и определяет оптимальное содержание газообразователя данного вида в заданной шихте.

Сравнивая результаты проведенных исследований, вся подгруппа под руководством преподавателя дает оценку всем применявшимся в исследовании газообразователям. Полученные результаты каждая из бригад использует при выполнении работ 2 и 3.

Лабораторное оборудование и приборы: 1. Лабораторная печь, обеспечивающая температуру нагрева до 900° С. 2. Прибор Шилла для изучения кинетики вспучивания пеностекла. 3. Набор огнеупорных тиглей. 4. Весы технические (Т-200). 5. Пресс гидравлический 7,5-тонный. 6. Измерительный инструмент. 7. Микроскоп МБ-9, МБС-2 или фотоустановка ФМН-2.

Работа 2. **Исследование влияния тонкости помола стекольного порошка и газообразователя на кинетику вспучивания стекломассы и основные свойства пеностекла**

Для выполнения поставленной задачи каждая бригада, используя данные, полученные при выполнении работы 1 (оптимальное количество газообразователя), составляет шихты с различной тонкостью помола компонентов (газообразователь берется тот же, который использовался данной бригадой при выполнении работы 1) в соответствии с данными табл. 21. Для каждой шихты определяется удельная поверхность на одном из типов приборов (см. ч. I, гл. II, § 1) и записывается в табл. 21 под номером шихты.

Для оценки влияния тонкости помола стекольного порошка и газообразователя на кинетику вспучивания и основные свойства ячеистого стекла достаточно исследовать шесть шихт (по указанию преподавателя): № 1, 2, 3, 4, 5, 7 и 3, 5, 6, 7, 8 и 9.

Таблица 21

Тонкость помола газообразователя, отв./см², прошло через сито / осталось на сите	Тонкость помола стекольного порошка, отв./см², прошло через сито / осталось на сите: 576 / 2 500	2 500 / 10 000	10 000 / 25 000
10 000/25 000	Шихта № 1 (S_0 = . . . см²/г)	Шихта № 2 (S_0 = . . . см²/г)	Шихта № 3 (S_0 = = . . . см²/г)
2 500/10 000	Шихта № 4 (S_0 = . . . см²/г)	Шихта № 5 (S_0 = . . . см²/г)	Шихта № 6 (S_0 = = . . . см²/г)
576/2500	Шихта № 7 (S_0 = . . . см²/г)	Шихта № 8 (S_0 = . . . см²/г)	Шихта № 9 (S_0 = = . . . см²/г)

Исследование кинетики вспучивания стекломассы проводится по методике, изложенной в работе 1. Для каждой шихты производится 1—2 опыта и по результатам строятся кривые вспучивания, анализируя которые можно судить о влиянии тонкости помола компонентов шихты на процесс вспучивания стекломассы.

Затем каждая бригада для каждой шихты вспучивает два образца (в огнеупорных тиглях) и, выпилив из них кубики с ребром 5 см, производит их испытание, определяя среднюю плотность, предел прочности при сжатии и изучая пористую структуру.

Результаты определений оформляют в виде графиков зависимости установленных свойств пеностекла от тонкости помола (от удельной поверхности) стекольного порошка и газообразователя. При построении этих графиков по оси абсцисс откладывается № шихты, а по оси ординат — величины (показатели) свойств пеностекла.

Лабораторное оборудование и приборы: 1. Шаровая мельница с фарфоровыми мелящими телами. 2. Поверхностномер типа ПСХ-2. 3. Приборы и оборудование, указанные для выполнения работы 1.

Работа 3. **Исследование влияния температуры и продолжительности спекания на основные свойства пеностекла**

Для проведения исследования каждая бригада пользуется своими результатами, полученными при выполнении работ 1 и 2. Выбрав оптимальные значения для количества газообразователя и тонкости помола шихты, производят вспучивание 24 образцов (по два образца для каждого значения температуры спекания и по два образца для каждого значения продолжительности спекания). Исходные данные для проведения этой серии опытов берут из табл. 22.

Таблица 22

№ бригады	Вид газообразователя	Режим спекания: время, мин	температура, °C: 1	2	3	4
1	Пиролюзит	10 20 30	680	700	620	740
2	Натриевая селитра	10 20 30	680	700	720	740
3	Известняк, мрамор, мел	10 20 30	750	775	800	825
4	Кокс	10 20 30	790	820	850	870
5	Антрацит	10 20 30	760	770	780	790

Каждая бригада представляет результаты исследования в виде графиков зависимости средней плотности и прочности от температуры и продолжительности спекания шихты.

На свойства пеностекла значительное влияние оказывают температура и продолжительность отжига. Максимальная температура отжига пеностекла должна соответствовать температуре, при которой вязкость стекла составляет примерно 10^{12} Н·с/м². Такая вязкость для

обычного стекла достигается при температуре около 600° С.

Учитывая необходимость выравнивания температуры по всей толщине изделия, для снятия температурных напряжений пеностекло при температуре отжига 600° С выдерживают в течение определенного времени.

С целью выявления влияния продолжительности отжига на свойства пеностекла каждая бригада изготовляет по девять одинаковых образцов. Три образца вынимают из печи сразу же после окончания процесса вспучивания, который проводят по оптимальному режиму, установленному при выполнении работы 1; три образца отжигают при температуре 600° С в течение 15 мин и три последних образца — при той же температуре в течение 30 мин. Охлажденные образцы вынимают из печи и испытывают, определяя среднюю плотность и предел прочности при сжатии, и сравнивают их свойства путем построения графических зависимостей «продолжительность отжига — средняя плотность — прочность при сжатии».

Лабораторное оборудование и приборы те же, что и при выполнении работ 1 и 2.

ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ V

Китайцев В. А. Технология теплоизоляционных материалов. М., 1974.

Справочник по производству теплоизоляционных и акустических материалов. М., 1976.

Китайгородский И. И., Кешинян Т. Н. Пеностекло. М., 1953.

Шилл Ф. Пеностекло (перевод с чешского). М., 1965.

ГЛАВА VI. ВСПУЧЕННЫЙ ПЕРЛИТ И ИЗДЕЛИЯ НА ЕГО ОСНОВЕ

Основным технологическим процессом при производстве вспученного перлита является обжиг перлитовой породы, при котором и происходит его вспучивание. Способность перлитовых пород вспучиваться при высоких температурах объясняется тем, что порода при этом размягчается, а содержащаяся в ней в растворенном состоянии вода переходит в пар, который и вспучивает размягченную массу.

Как уже указывалось в гл. II, коэффициент вспучивания перлита зависит от многих факторов: химического

состава сырья, содержания в породе растворенной воды, естественной пористости породы, размеров частиц вспучиваемого сырья и режима тепловой обработки.

Важнейшими из перечисленных выше факторов являются: содержание растворенной воды в данной породе и режим ее тепловой обработки.

Из одной и той же перлитовой породы при различных режимах тепловой обработки можно получать перлит с различной средней плотностью, т. е. можно изменять вспучиваемость данного сырья.

При медленном нагреве вся растворенная в перлите вода испаряется при температуре 600—700° С до достижения материалом пиропластического состояния, а при чрезмерно интенсивном нагреве происходит растрескивание породы с образованием большого количества мелкой перлитовой пыли. В ряде случаев требуется двухступенчатая тепловая обработка: предварительный подогрев материала до температуры 200—400° С для удаления избыточной воды и последующий быстрый нагрев до температуры вспучивания.

Вопросы, связанные с изучением тепловой обработки перлитовых пород, имеют весьма важное практическое значение.

Работа 1. Исследование влияния параметров тепловой обработки на основные свойства вспученного перлита

Целью данной работы является выявление влияния параметров тепловой обработки на среднюю плотность готового продукта и определение их оптимального значения.

Работа выполняется пятью бригадами студентов (по 2—3 человека в каждой бригаде), которые решают частные задачи исследования, а затем производят общую обработку полученных результатов.

Исследованию подлежит один вид перлитовой породы с величиной потерь при прокаливании более 5%.

Каждая бригада должна выполнить следующие опыты.

1. Отсеять фракции перлитовой породы 0,5—3 мм в количестве 1 кг и определить насыпную плотность этих фракций.

2. Определить величину п. п. п. и установить схему обжига для данной породы.

3. Определить режим термоподготовки для получения перлитовой породы с заданным количеством остаточной воды.

4. Произвести вспучивание образцов по заданным режимам обжига.

5. Определить насыпную плотность вспученного по заданному режиму перлита и вычислить коэффициент вспучивания. Варианты заданий для выполнения работы 1 даны в табл. 23.

Таблица 23

Номер бригады	Наименование перлитовой породы	Заданное количество остаточной воды, %	Температура обжига, °С					Продолжительность, мин
			1	2	3	4	5	
1		4,5—5	900	1000	1050	1100	1150	Задается преподавателем
2		3,5—4						
3		2,5—3						
4		1,5—2						
5		0,5—1						

6. Произвести обработку полученных всеми бригадами результатов и установить оптимальные параметры тепловой обработки данной перлитовой породы, а также влияние этих параметров на среднюю плотность вспученного перлита.

При указании продолжительности обжига преподаватель исходит из вида породы.

Работу рекомендуется выполнять в следующем порядке: а. Отсеять от имеющейся в лаборатории перлитовой породы фракции 0,5—3 мм. б. Всем бригадам, взяв по одной пробе и пользуясь методикой, изложенной в ч. I, гл. I, § 3, определить насыпную плотность отсеянных фракций породы и по результатам, полученным пятью бригадами, вычислить ее среднее значение. в. Всем бригадам, пользуясь методикой, изложенной в ч. I практикума, гл. I, § 4, произвести определение содержания воды в данной породе (определить величину п. п. п.) и по результатам пяти определений (пяти бригад) вычислить среднюю ее величину. г. Пользуясь методикой, приведенной в ч. I, гл. II, § 3, подобрать

режим термоподготовки, обеспечивающий получение перлитовой породы с заданным для данной бригады содержанием остаточной воды. После этого произвести термоподготовку по этому режиму 10 проб по 10 г каждая. д. Каждой бригаде произвести вспучивание пяти навесок материала при заданных пяти температурах (табл. 23), используя для этого методику, изложенную в гл. II, § 3. По полученным результатам (по насыпной плотности вспученного материала или по коэффициенту вспучивания) установить оптимальную температуру обжига. е. Обжечь следующие пять навесок при найденной оптимальной температуре, изменяя время вспучивания, пределы которого указываются преподавателем в соответствии с видом исследуемой породы. По полученным результатам установить оптимальную продолжительность обжига для данной породы при данном содержании остаточной воды.

Произведя перечисленные выше опыты, каждая бригада устанавливает оптимальные параметры тепловой обработки перлитовой породы с заданным остаточным количеством воды. Запись результатов рекомендуется производить по формам, приведенным в I части практикума (гл. II, § 3).

Определение оптимального содержания остаточной воды производит вся подгруппа под руководством преподавателя, используя для этого оптимальные результаты, полученные бригадами, и строя график зависимости «количество остаточной воды — коэффициент вспучивания (насыпная плотность) вспученного материала».

Лабораторное оборудование и приборы: 1. Лабораторные печи, обеспечивающие температуру обжига до 1300° С. 2. Керамические поддоны с бортиками для обжига перлитового песка. 3. Весы технические (Т-200). 4. Мерная посуда. 5. Секундомер.

Работа 2. Исследование влияния насыпной плотности перлита и его количества в шихте на физико-механические свойства перлитокерамических изделий

Перлитокерамические изделия являются эффективным теплоизоляционным материалом, который применяют для изоляции горячих поверхностей с температурой до 800—1050° С.

Сырьем для изготовления перлитокерамических изделий служат: перлитовый песок с насыпной плотностью не более 200 кг/м³ и с крупностью зерен не более 3 мм, пластичная огнеупорная глина с числом пластичности более 25 и показателем огнеупорности свыше 1580° С.

Показатели свойств перлитокерамических изделий приведены в табл. 24.

Таблица 24

Наименование показателей	Нормы для изделий марок			
	250	300	350	400
Средняя плотность, кг/м³, не более	250	300	350	400
Теплопроводность при средней температуре:				
25° С, Вт/(м·° С), не более	0,076	0,081	0,093	0,105
300° С, Вт/(м·° С), не более	0,122	0,128	0,140	0,151
Прочность при сжатии, МПа, не менее, для изделий:				
а) высшей категории качества	0,4	0,7	0,9	1,2
б) первой категории качества	0,3	0,5	0,7	1,0
Линейная температурная усадка при 875° С, %, не более	2	2	2	2
Термическая стойкость (для изделий высшей категории качества), циклы	10	10	10	10

Свойства перлитокерамических изделий в основном зависят от качества перлита, от его средней плотности и гранулометрического состава, а также от качества применяемой глины.

Чем выше связующая способность глины, тем больше перлита можно ввести в шихту, тем, следовательно, меньше будет средняя плотность изделий при достаточно высокой их прочности.

Данная лабораторная работа имеет целью исследовать зависимость свойств перлитокерамических изделий от насыпной плотности вспученного перлита и его содержания в шихте (в формовочной массе).

Работа выполняется шестью бригадами студентов, объединенными в две подгруппы (по три бригады). Варианты заданий приведены в табл. 25.

Таблица 25

Номер подгруппы	Номер бригады	Наименование глины	Насыпная плотность перлита, кг/м³	Состав шихты, % по объему		Влажность глиняного шликера, % по массе
				глина	перлит	
1	1	Ч-1	100	5	95	140
	2	Ч-1		10	90	100
	3	Ч-1		15	85	87
2	4	Ч-1	200	5	95	140
	5	Ч-1		10	90	100
	6	Ч-1		15	85	85

В задачу каждой бригады входит: 1) приготовление формочной массы заданного состава; 2) формование трех образцов размером $7 \times 7 \times 7$ см; 3) испытание образцов на среднюю плотность и прочность при сжатии и обработка полученных результатов.

1. Приготовление формовочной массы. Для изготовления трех образцов размером $7 \times 7 \times 7$ см рекомендуется готовить 1,5—2 л формовочной массы. С этой целью берут молотую сухую глину в количестве $Г = 2000x/100$, где x — процентное содержание глины в шихте; вспученный перлитовый песок в количестве $200 - x$ см³; отмеренное количество глины взвешивают с точностью до 1 г и затворяют водой, количество которой берут в соответствии с данными табл. 25. Глину тщательно перемешивают с водой до получения однородного шликера, после чего при непрерывном перемешивании постепенно добавляют перлит и продолжают перемешивание примерно 1—2 мин до получения однородной массы. Продолжительность перемешивания увеличивать не рекомендуется, так как при этом происходит разрушение зерен перлита и повышение его средней плотности.

Пример расчета состава перлитокерамической формовочной смеси. Допустим, что в качестве сырьевых материалов используются: вспученный перлит с $\rho_{ср} = 150$ кг/м³, глина огнеупорная Ч-1 с $\rho_{ср} = 1,67$ г/см³.

Заданный состав формовочной смеси: $Г : П = 10 : 90$

(по объему); влажность глиняного шликера $W_ш = 90\%$.

$Г = 2000 \cdot 10/100 = 200$ см³; $П = 2000 - 200 = 1800$ см³.

Допустим, что 200 см³ сухой молотой глины весят 334 г; тогда для приготовления шликера с влажностью 90% потребуется воды $В = 334 \cdot 0{,}9 = 300$ мл.

2. Формование образцов осуществляют на виброплощадке следующим образом. Металлическую форму с тремя ячейками, предварительно очищенную и смазанную, жестко крепят к виброплощадке. В каждую ячейку формы укладывают приготовленную формовочную массу вровень с краями. Затем на форму надевают насадку и включают вибростол. По мере уплотнения массы и ее оседания в форму добавляют некоторое количество перлитоглиняной смеси так, чтобы ее уровень был вровень с краями формы. Вибрирование массы осуществляют при амплитуде колебаний, равной 0,25—0,3 мм, в течение 120 с.

Отформованные образцы выдерживают в формах в течение 5—10 мин, а затем осторожно снимают борта формы, и образцы на поддонах оставляют сушить.

3. Тепловая обработка образцов производится под руководством преподавателя или заведующего лабораторией.

Образцы сушат в течение 3—4 сут в естественных условиях (на специальных стеллажах в помещении лаборатории или в подсобном помещении), а затем в сушильном шкафу при температуре 100—120° С в течение 8—12 ч до остаточной влажности 4—5%. При этом подъем температуры до максимальной рекомендуется производить в течение 4—5 ч.

Обжиг образцов производят в лабораторных печах по следующему режиму: подъем температуры до 850—1000° С — 5—6 ч, выдерживание при максимальной температуре 1 ч, после чего печь отключают. Образцы вынимают из печи после их охлаждения до температуры 40—50° С.

4. Испытание образцов на определение средней плотности и предела прочности при сжатии производят в следующее занятие по методике, изложенной в ч. I практикума, гл. I, § 4 и 6.

Полученные результаты 1, 2, 3 и 4, 5, 6-й бригад сводят в таблицы, которые рекомендуется составлять по ниже приведенной форме.

По данным таблицы, подгруппы строят графики зависимостей: а) соотношение «глина — перлит (Г : П) — средняя плотность образцов»; б) «соотношение Г : П — предел прочности при сжатии образцов».

Анализируя данные таблицы и построенные графики, делают общие выводы по проведенной работе, в которых отмечают также влияние насыпной плотности перлита на свойства изделий. Форма записи результатов проведенных опытов дана ниже.

Номер группы	Номер бригады	Насыпная плотность перлита, кг/м³	Соотношение Г:П, % по объему	Показатели свойств образцов: средняя плотность, кг/м³				Показатели свойств образцов: прочность при сжатии, МПа			
				1	2	3	среднее	1	2	3	среднее
1	1	100	5:95								
	2		10:90								
	3		15:85								
2	4	200	5:95								
	5		10:90								
	6		15:85								

Лабораторное оборудование и приборы: 1. Лабораторная виброплощадка с регулируемой амплитудой. 2. Ручной виброграф ВР-1. 3. Сушильный шкаф или лабораторная сушилка с принудительной подачей теплоносителя. 4. Лабораторные печи с температурой нагрева до 900° С. 5. Комплект трехячейковых форм с размером ячеек 7 × 7 × 7 см. 6. Гидравлический пресс на 7,5 т. 7. Измерительный инструмент. 8. Весы технические Т-200. 9. Комплект сферических чаш для приготовления формовочной массы. 10. Мерная посуда. 11. Секундомер.

ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ VI

Китайцев В. А. Технология теплоизоляционных материалов. М., 1974.

Справочник по производству теплоизоляционных и акустических материалов. М., 1964.

ГОСТ 10832—74. «Песок и щебень перлитовые вспученные».

ГОСТ 21521—76. «Изделия перлитокерамические теплоизоляционные».

ГЛАВА VII. АСБЕСТОИЗВЕСТКОВО-КРЕМНЕЗЕМИСТЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Асбестоизвестково-кремнеземистые материалы, выпускаемые промышленностью в виде изделий в форме плит, скорлуп и сегментов, являются одной из разновидностей обширной группы асбестосодержащих теплоизоляционных материалов.

Основным сырьем для производства асбестоизвестково-кремнеземистых материалов служат: известь, кремнеземистый компонент (молотый песок, диатомит или трепел) и асбест. С целью регулирования (ускорения) сроков твердения формовочных масс в них добавляют полуводный гипс в количестве 10—12% от массы извести.

В зависимости от применяющегося вида кремнеземистого компонента асбестоизвестково-кремнеземистые изделия делятся на: а) асбестоизвестково-песчаные и б) асбестоизвестково-диатомитовые (трепельные).

Показатели свойств этих изделий могут колебаться в довольно широких пределах. Например, средняя плотность может находиться в пределах от 200 до 400 кг/м³, а предел прочности при изгибе — от 0,3 до 1,0 МПа.

Значительное влияние на свойства асбестоизвестково-кремнеземистых изделий оказывают следующие технологические факторы: сорт, количество и степень распушки асбеста; величина удельной поверхности кремнеземистого компонента; количество и активность извести; влажность формовочной смеси; режим автоклавной обработки изделий и режим их сушки.

Как известно, асбест при производстве асбестоизвестково-кремнеземистых, равно как и других видов асбестосодержащих изделий, призван выполнять две основные функции: во-первых, создавать как бы арматурный каркас, увеличивая прочность изделий при изгибе, и, во-вторых, повышать водоудерживающую способность формовочных масс, что способствует уменьшению средней плотности изделий и, следовательно, теплоизолирующей способности.

Чем выше сорт применяющегося асбеста и степень его распушки (чем больше удельная поверхность его волокон), тем прочнее изделия и тем выше водоудерживающая способность формовочных масс.

С другой стороны, увеличение удельной поверхности кремнеземистого компонента, кроме повышения водоудерживающей способности формовочных масс, увеличивает еще реакционную способность самого кремнеземистого компонента, что благоприятно сказывается на повышении прочности изделий.

От режима автоклавной обработки (от температуры и продолжительности) зависит полнота прохождения реакции между известью и кремнеземистым компонентом, что в значительной мере обусловливает прочностные показатели асбестоизвестково-кремнеземистых изделий.

Целью данной главы является исследование влияния сорта асбеста, степени его распушки и количественного содержания в шихте на среднюю плотность и прочность изделий.

С целью повышения контрастности в результатах исследования при выполнении лабораторных работ в составах формовочных масс рекомендуется принимать некоторые допущения, равно как и в режимах автоклавной обработки.

Работа 1. Исследование влияния сорта, степени распушки асбеста и его содержания в шихте на водопотребность формовочных масс и свойств изделий

В табл. 26 даны варианты заданий для выполнения данной работы. Работа выполняется шестью бригадами, объединенными в две подгруппы. Каждая бригада, предварительно установив водопотребность масс, приготавливает пять замесов на заданных составах смеси и формует из каждого замеса по три образца в виде балочек размером $3 \times 4 \times 20$ см. Готовые образцы, прошедшие автоклавную обработку и сушку, испытывают, определяя среднюю плотность и прочность при изгибе. По полученным результатам строят графики зависимости: 1) «количество асбеста — водопотребность формовочной массы»; 2) «количество асбеста — средняя плотность образцов»; 3) «количество асбеста $R_{изг}/\rho_{ср}$ 100 (к. к. к.)»; 4) «степень распушки асбеста — водопотребность формовочных масс»; 5) «степень распушки асбеста — средняя

Таблица 26

Номер подгруппы	Номер бригады	Способ распушки асбеста	Продолжительность распушки, мин	Сорт асбеста	Соотношение компонентов смеси в % по массе (известь: кремнеземистый компонент:асбест)				
					1	2	3	4	5
I	1	Бегуны	5	IV	38:57:5	36:54:10	34:51:15	32:48:20	28:42:30
	2	Бегуны	10						
	3	Бегуны + пропеллерная мешалка	10+10						
II	4	Бегуны	5	VI	38:57:5	36:54:10	34:51:15	32:48:20	28:42:30
	5	Бегуны	10						
	6	Бегуны + пропеллерная мешалка	10+10						

Примечания. 1. При выполнении данной работы используется одна и та же известь-кипелка (молотая), активность 80—70%.

2. При выполнении данной работы используют в качестве кремнеземистого компонента молотый песок с удельной поверхностью 2500 см²/г.

плотность образцов»; 6) «степень распушки асбеста — к. к. к.».

Анализируя полученные результаты и опираясь на технико-экономическую сторону вопроса (расход асбеста, расход электроэнергии, целесообразность получения данной прочности изделий и т. п.), каждая подгруппа определяет оптимальный состав шихты с использованием данного сорта асбеста при данной степени его распушки.

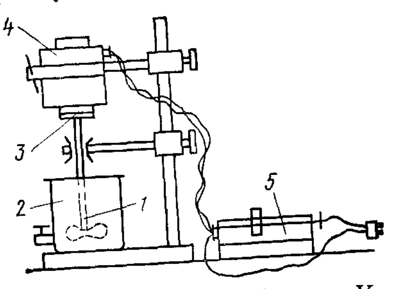


Рис. 57. Лабораторная пропеллерная мешалка:
1 — вал с лопастями; 2 — металлический бачок; 3 — муфта; 4 — электромотор; 5 — реостат

1. Распушка асбеста. Каждая бригада, пользуясь методикой, изложенной в ч. I практикума, гл. I, § 2, определяет одним из методов влажность выданного ей асбеста и вычисляет ее среднее значение по результатам трех определений (трех бригад данной подгруппы).

Затем каждая подгруппа отвешивает по 2 кг асбеста, считая на сухое вещество, увлажняет взятые навески до влажности 35—37% и загружает в лабораторные бегуны. После пяти минут работы бегунов бригады 1 и 4 отбирают соответственно из бегунов № 1 и № 2 примерно по 600 г асбеста. После этого распушку продолжают еще пять минут, и уже бригады 2 и 5 отбирают по такой же порции асбеста. Оставшийся в бегунах асбест бригады 3 и 6 переносят в лабораторные пропеллерные мешалки (рис. 57), добавляют воду до получения массы с влажностью 200—250% и продолжают распушку асбеста путем перемешивания его с водой в пропеллерных мешалках в течение 10 мин. При отсутствии в лаборатории пропеллерной мешалки распушку асбеста можно производить в бегунах в течение еще 20 мин.

После проведения этих операций каждая бригада, пользуясь методикой, изложенной в гл. II, § 2 (ч. I), производит определение степени распушки асбеста и записывает результат в рабочий журнал.

2. Определение водопотребности формовочных масс. Для определения водопотребности каждая бригада приготавливает один замес.

Вначале бригада № 4, пользуясь соотношением компонентов № 1 (табл. 26), определяет диаметр расплыва массы. Для этого берут 100—200 г сухой смеси компонентов следующего состава:

извести $И = 100 \cdot 38/100 = 38$ г.

песка $К = 100 \cdot 57/100 = 57$ г.

асбеста $А = 100 \cdot 5/100 = 5$ г

и затворяют водой, доводя влажность массы до 180%. Порядок приготовления массы следующий. Известь и песок тщательно перемешивают всухую, затем затворяют водой, учитывая влажность всех компонентов смеси, и перемешивают в течение 2—3 мин, после чего добавляют асбест и продолжают перемешивание еще 1—2 мин до получения однородной массы. Приготовленную массу помещают в цилиндр прибора Суттарда, заполняя его вровень с краями, и быстрым точным движением поднимают цилиндр вертикально вверх. После этого замеряют диаметр расплыва, который должен быть не менее 44—45 см. Если диаметр расплыва массы меньше этого значения, то опыт повторяют, добавляя воду и фиксируя В/Т массы, при котором был достигнут диаметр расплыва массы заданного значения.

После проведения этого опыта все остальные бригады, в том числе и бригада 4, последовательно готовят замесы для всех заданных составов шихты и определяют диаметр расплыва масс. При этом количество воды затворения увеличивают, добиваясь такого же значения диаметра расплыва масс, который был получен для первого состава бригадой 4.

Полученные результаты при выполнении этой серии опытов рекомендуется записывать по следующей форме:

Номер состава	Диаметр расплыва массы, см	В/Т
1		
2		
3		
4		
5		

По полученным данным строят графики зависимостей:

1) «содержание асбеста — В/Т»; 2) «степень распушки асбеста — В/Т» (эту зависимость определяют по подгруппам, используя результаты, полученные отдельными бригадами, и строя кривые для всех заданных составов шихты).

3. Формование образцов. После определения величин В/Т для каждого из пяти заданных соотношений компонентов, указанных в табл. 24, каждая бригада производит расчет составов формовочных масс для этих соотношений.

Для формования трех образцов размером $3 \times 4 \times 20$ см необходимо примерно 400 г смеси сухих компонентов. Расчет составов формовочных масс производят, пользуясь следующими формулами:

$$И = 400и/100; \quad К = 400к/100; \quad А = 400а/100;$$

где *И, К* и *А* — расход извести, кремнеземистого компонента (песка) и асбеста, считая на сухое вещество, в г на один замес; *и, к, а* — заданное содержание извести, кремнеземистого компонента и асбеста в шихте, % по массе.

Рассчитав составы смесей, приготавливают формовочные массы для пяти заданных соотношений сухих компонентов, при этом пользуются определенными в первой серии опытов значениями В/Т. Порядок приготовления формовочных масс рекомендуется принимать следующий.

В лабораторную пропеллерную мешалку помещают распушенный асбест и доливают воду, доводя влажность асбеста до 300—350%. Включив мешалку, перемешивают асбест с водой в течение 1—2 мин, затем в полученную водную суспензию асбеста вводят заранее приготовленный известково-песчаный шликер и продолжают перемешивание еще 2—3 мин, до получения однородной массы. При этом необходимо следить за тем, чтобы общее количество воды, введенной в массу, с учетом влажности материалов соответствовало найденной для данного состава величине В/Т.

Приготовленную массу выливают в предварительно очищенные и смазанные трехячейковые формы с размером ячеек $3 \times 4 \times 20$ см. Избыток массы удаляют металлической линейкой или шпателем.

Отформованные образцы выдерживают в течение 20—30 мин, а затем загружают в автоклав.

4. Автоклавная обработка и сушка образцов. Автоклавная обработка и сушка образцов производятся лаборантским составом под руководством преподавателя или заведующего лабораторией.

Рекомендуемый режим автоклавной обработки: подъем давления до 9 МПа — 2 ч; выдерживание образцов при давлении 9 МПа — 3 ч; снижение давления до атмосферного — 1 ч.

Образцы, отформованные всеми бригадами и обоими подгруппами, подвергают автоклавной обработке по одинаковому режиму, так как только в этом случае можно получить сравнимые результаты, по которым можно судить о влиянии сорта, степени распушки асбеста и его содержании в шихте на свойства изделий.

После автоклавной обработки образцы сушат в сушильном шкафу или в лабораторной сушилке с принудительной подачей теплоносителя при температуре 130—150° С до остаточной влажности 15—20%.

5. Испытание образцов и обработка полученных результатов. Образцы высушивают до постоянной массы и, пользуясь методикой, изложенной в I части практикума (гл. I, § 4 и 6), определяют среднюю плотность и предел прочности при изгибе, вычисляя среднее значение этих показателей по результатам испытания трех образцов, изготовленных из данного состава шихты с применением асбеста данного сорта и данной степени распушки.

Ниже приводится рекомендуемая форма записи полученных результатов. По полученным данным строят графики зависимостей:

1) «количество асбеста — средняя плотность образцов»;

2) «количество асбеста — $R_{изг} \cdot 100/\rho_{ср}$ (к. к. к.)»;

3) «степень распушки асбеста — средняя плотность образцов»;

4) «степень распушки асбеста — $R_{изг} \cdot 100/\rho_{ср}$».

Последние две зависимости будут выражены пятью кривыми каждая, построенные по данным бригад, входящих в состав данной подгруппы. Анализируя данные таблицы и построенные графики, делают общие выводы о влиянии сорта, степени распушки асбеста и его содержания в шихте на свойства изделий.

Номер бригады	Сорт асбеста	Степень распушки асбеста, %	Номера составов	Показатели свойств							
				средняя плотность образцов, кг/м³				предел прочности при изгибе, МПа			
				1	2	3	средние	1	2	3	средние
1	IV		1								
			2								
			3								
			4								
			5								
2	IV		1								
			2								
			3								
			4								
			5								
3	IV		1								
			2								
			3								
			4								
			5								
4	VI		1								
			2								
			3								
			4								
			5								
5	VI		1								
			2								
			3								
			4								
			5								
6	VI		1								
			2								
			3								
			4								
			5								

Лабораторное оборудование и приборы: 1. Лабораторная пропеллерная мешалка. 2. Лабораторные бегуны. 3. Лабораторные автоклавы. 4. Сушильный шкаф или лабораторная сушилка с принудительной подачей теплоносителя. 5. Взбалтыватель О-21 для определения степени распушки асбеста. 6. Прибор Суттарда. 7. Комплект трехячейковых форм с размером ячеек 3 × 4 × 20 см. 8. Прибор для испытания образцов-балочек на изгиб. 9. Весы технические Т-200. 10. Измерительный инструмент. 11. Секундомер. 12. Мерная посуда.

ГЛАВА VIII. ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫЕ ПЛИТЫ

Древесноволокнистыми плитами называют большую группу крупноразмерных плит и листов, получаемых из древесины путем последовательного ее измельчения в волокнистую массу, формования из нее изделий и тепловой их обработки.

Древесноволокнистые плиты в зависимости от средней плотности подразделяют на следующие виды: мягкие, полутвердые, твердые и сверхтвердые.

В зависимости от предела прочности при изгибе плиты изготовляются следующих марок: М-4, М-12 и М-20 — мягкие; ПТ-100 — полутвердые; Т-350 и Т-400 — твердые; СТ-500 — сверхтвердые.

Основные требования, предъявляемые стандартом (ГОСТ 4598—74) к древесноволокнистым плитам, приведены в табл. 28.

Таблица 28

Наименование показателей	Нормы для плит марок						
	М-4	М-12	М-20	ПТ-100	Т-350	Т-400	СТ-50
Средняя плотность, кг/м³	Не более 150	350		От 400 до 800	Не менее 850		Не менее 950
Влажность, %, не более	12	12		12	8±2		8±2
Водопоглощение, %, не более:							
за 2 ч	30	30	Не нормируется		Не нормируется		
за 24 ч	Не нормируется			40	30		15
Набухание по толщине за 24 ч, %, не более	Не нормируется			20	20		12
Прочность при изгибе, МПа, не менее	0,4	1,2	2,0	10,0	35,0	40,0	50,0
Теплопроводность, Вт/(м·°С), не более	0,055	0,07	0,093	Не нормируется			

Как видно из таблицы, к теплоизоляционным относят плиты марок: М-4, М-12 и М-20.

Качество древесноволокнистых плит в значительной степени зависит от вида и тонкости помола древесного волокна.

По тонкости помола древесноволокнистая масса подразделяется на «жирную» (тонкую) и «садкую» (тощую). Жирной массой называют такую, которая содержит преимущественно тонкие длинные и гибкие волокна. Такая масса характеризуется большой удельной поверхностью и высокой водоудерживающей способностью.

Тощая масса состоит, главным образом, из сравнительно коротких и толстых волокон. Она легко отдает воду на сетке формовочной машины.

Прочность высокопористых изоляционных плит обеспечивается за счет переплетения волокон между собой, поэтому для изготовления изоляционных плит предпочтительнее применять жирные древесноволокнистые массы, так как при использовании коротких толстых волокон значительно уменьшается степень их переплетения и, следовательно, снижается прочность изделий.

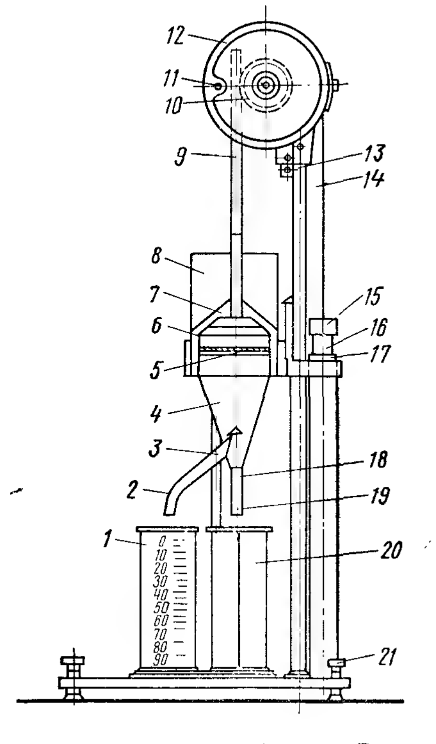


Рис. 58. Прибор Шоппера-Риглера для определения тонкости помола древесного волокна

Прочность других видов плит достигается путем применения горячего прессования, при котором древесные волокна склеиваются между собой выделяющимися из древесины клеющими веществами. Поэтому при изготовлении таких изделий тонкость помола волокна имеет значительно меньшее значение, чем при производстве изоляционных плит.

Для улучшения качества древесноволокнистых плит, повышения их водостойкости, долговечности и прочно-

сти в формовочную массу вводят проклеивающие добавки, например парафин, который осаждают на волокна древесины сернокислым глиноземом. Обычно количество проклеивающей добавки не превышает 2—3% от количества сухого древесного волокна.

Тонкость помола древесноволокнистой массы определяют по скорости обезвоживания на специальном приборе Шоппер-Риглера и выражают в градусах Шоппер-Риглера (сокращенное обозначение °Ш-Р).

Прибор (рис. 58) состоит из металлического цилиндра *8* с медным сетчатым дном *5* (сетка № 100). В цилиндр вставляется конус *7* с резиновым уплотнительным кольцом *6*. Конус плотно отделяет цилиндр *8* от разделительной воронки *4*, которая оканчивается прямой трубкой *18* с отверстием *19*, диаметр которого составляет 3,2 мм.

На некотором расстоянии от нижнего отверстия в боковой стенке воронки *4* врезана изогнутая трубка *3* с внутренним диаметром 12,7 мм. Конус *7* соединен с гребенкой *9*, которая имеет зубчатое сцепление с шестеренкой *10*, сидящей на одном валу с диском *12*. Диск поворачивается с помощью перекинутого через него шнура *14*, на котором подвешен груз *15*, выполненный в виде цельного металлического цилиндра, который перемещается в полом направляющем цилиндре *16*. Ход груза регулируется гайкой *17*. Пуск и остановка диска осуществляется с помощью специальных устройств *13* и *11*. Для установки прибора в строго вертикальном положении используются регулировочные винты *21*.

При нажатии на рычаг *11* грузы опускаются и тем самым приподнимают конус *7* в цилиндре *8*. Вода по стенкам воронки *4* стекает в ее нижнюю часть и вытекает из прибора через отверстия *19* и *2*, попадая в мерные цилиндры *1* и *20*.

Определение градуса помола древесноволокнистой массы производят следующим образом.

Отвешивают с точностью до 0,1 г навеску волокнистой массы данной влажности из расчета 20 г абсолютно сухого волокна. Эту навеску тщательно размешивают в 1 л воды (1 л минус влага, содержащаяся в волокне) с температурой 40—45° С. Подготовленную таким образом пульпу (концентрации 2%) выливают в цилиндр прибора *8* при плотно закрытом конусе *7*. После поднятия конуса пульпа попадает на сетчатое дно цилиндра. При этом вода протекает через сетку и попадает в делительную воронку *4*, а волокно остается на сетке.

Вначале происходит интенсивное водоотделение, а затем, по мере обезвоживания массы, вода отделяется все медленнее. При интенсивном водоотделении уровень воды в делительной воронке поднимается выше изогнутой трубки, так как через отверстие *19*, имеющее малый диаметр, вода не успевает вытекать. Вследствие этого бóльшая часть воды вытекает из воронки *4* через изогнутую трубку *3* и попадает в мерный цилиндр *1*, а меньшая часть воды попадает в цилиндр *20* через отверстие *19*.

Если масса жирная, то водоотделение идет медленнее и в цилиндр *19* попадает больше воды, чем при испытании тощей массы, которая отдает воду значительно легче.

Градус помола (°Ш-Р) определяют по количеству воды, попавшей в цилиндр *19*. Чем больше будет воды в этом цилиндре, тем выше градус помола массы.

Например, если в цилиндре *19* собрано 180 см^3 воды, то это означает, что масса имеет тонкость помола, равную

$$180 \cdot 100/1000 = 18\% = 18° \text{ Ш-Р}.$$

Работа 1. Исследование влияния тонкости помола древесного волокна на прочность мягких древесноволокнистых плит

Данная работа выполняется шестью бригадами студентов, объединенными в виде подгруппы. Для получения наглядных результатов в лаборатории необходимо иметь по крайней мере три вида древесного волокна, отличающихся друг от друга тонкостью помола.

Студенты побригадно выполняют задание, исходные данные для которого содержатся в табл. 29. В учебных целях можно разнообразить задания, получая бóльшее число вариантов, путем изменения средней плотности плит вплоть до 800—900 кг/м^3 и изменения их толщины.

Каждая бригада выполняет следующие определения: 1) устанавливает тонкость помола выданной ей волокнистой массы в °Ш-Р; 2) изготовляет образцы изоляционных или изоляционно-отделочных плит в количе-

Таблица 29

Номер подгруппы	Номер бригады	Вид плит	Заданные характеристики		Примерная величина °Ш-Р волокна
			средняя плотность, кг/м³	толщина образцов, мм	
1	1	Мягкие (М-12)	200	25	20—21
	2	То же	200	25	16—17
	3	»	200	25	12—13
2	4	Мягкие (М-20)	350	20	20—21
	5	То же	350	20	16—17
	6	»	350	20	12—13

стве трех штук для заданного вида древесноволокнистой массы; 3) испытывает образцы на среднюю плотность и предел прочности при изгибе.

Полученные результаты вся подгруппа (три бригады) использует для построения графика зависимости: «тонкость помола волокнистой массы — прочность образцов при изгибе».

Исследованиями и производственным опытом установлено, что древесноволокнистая масса должна иметь определенную тонкость помола для производства различных видов плит (табл. 30). Данные этой таблицы используют для сравнения при выполнении работы.

Таблица 30

Необходимая тонкость помола древесноволокнистой массы

Вид плит	Средняя плотность, кг/м³	°Ш-Р
Мягкие (М-4; М-12; М-20)	150—250 250—350	19—21 16—19
Полутвердые (ПТ-100)	400—800	13—16
Твердые (Т-350, Т-400), сверхтвердые СТ-500	850—950	12—13

Выполнение данной работы рекомендуется производить в следующем порядке.

1. Расчет расхода сырьевых материалов. Определив по методике, приведенной выше, градус помола древесноволокнистой массы и записав результат в журнал, приступают к изготовлению образцов, для чего вначале производят расчет расхода сырьевых материалов, который выполняют следующим образом.

а. Определяют массу сухого образца: $m_{обр} = V_{обр}\rho_{ср}$, где $V_{обр}$ — объем образца, см³; $\rho_{ср}$ — заданная средняя плотность образца, кг/м³.

б. Определяют массу абсолютно сухого волокна, необходимую для изготовления одного образца при заданном составе формовочной массы (кг):

$$m_с = m_{обр}\frac{B}{100},$$

где B — содержание волокна в образце, %.

в. Вычисляют необходимое количество волокна при данной его влажности (кг)

$$m_в = m_с\left(1 + \frac{W}{100}\right),$$

где W — абсолютная влажность волокна, %.

г. Находят количество парафина, необходимое для улучшения качества изделий (кг)

$$m_п = m_{обр}\frac{П}{100},$$

где $П$ — заданное содержание парафина в массе, %.

д. Определяют количество сернокислого глинозема, необходимое для осаждения заданного количества парафина (кг)

$$m_г = m_{обр}\frac{Г}{100},$$

где $Г$ — количество сернокислого глинозема в массе, %.

Таким образом, исходными данными для расчета расхода материалов на один образец (или на одну плиту) являются: заданная средняя плотность образца; размеры образца; процентное соотношение компонентов в данной массе; влажность древесного волокна.

Пример расчета расхода материалов для изготовления 1 образца.

Требуется изготовить образец изоляционно-отделочной плиты со средней плотностью в высушенном состоянии 300 кг/м³ и размером 140 × 140 × 12,5 мм.

Применяющиеся сырьевые материалы: древесное волокно хвойных пород с влажностью 4%; имеющиеся добавки — парафиновая эмульсия концентрации 25% и раствор сернокислого глинозема концентрации 20%.

Заданный состав в % по массе: 95% волокна (абсолютно сухого); 2% парафина и 3% сернокислого глинозема.

а. Определяем массу изготавливаемого образца в высушенном состоянии $m_{обр} = 14 \times 14 \times 1{,}25 \times 0{,}3 = 0{,}0735$ кг.

б. Находим массу абсолютно сухого волокна, необходимую для изготовления образца при заданном составе массы:

$$m_с = 0{,}0735 \cdot 0{,}95 = 0{,}0698 \text{ кг.}$$

в. Вычисляем необходимое количество волокна при данной его влажности

$$m_в = 0{,}0698 \cdot 1{,}04 = 0{,}0726 \text{ кг.}$$

г. Определяем количество парафина

$$m_п = 0{,}0735 \cdot 0{,}02 = 0{,}00147 \text{ кг.}$$

Так как в парафиновой эмульсии собственно парафина содержится 25%, то ее количество составит

$$0{,}00147 \cdot 4 = 0{,}0059 \text{ кг.}$$

д. Определяем количество сернокислого глинозема

$$m_г = 0{,}0735 \cdot 0{,}03 = 0{,}0022 \text{ кг.}$$

Учитывая концентрацию раствора сернокислого глинозема, имеющегося в наличии, определяем необходимое количество $0{,}0022 \times 5 = 0{,}011$ кг.

2. Приготовление формовочной массы. Для получения гомогенной массы и улучшения условий ее проклейки, т. е. наилучшего распределения добавок, принято приготавливать формовочную массу 2%-ной концентрации.

Отвешенное количество волокна, необходимое для изготовления одного образца, заливают теплой водой (40—45° С) с таким расчетом, чтобы концентрация волокна в пульпе была равна 2%. Влажностью волокна, если она не превышает 5%, можно пренебречь.

Например, в рассмотренном нами случае для получения пульпы 2%-ной концентрации надо взять $0{,}0726 \cdot 100/2 = 3{,}63$ л воды.

3. Формование образцов. Для этого используют лабораторную отливочную установку, схема которой показана на рис. 59.

Установка состоит из металлического короба 7, четырехгранной воронки 10, верхняя часть которой (крышка) выполнена в виде перфорированной металлической пластинки 8 с круглыми отверстиями диаметром 4—5 мм, расположенными в шахматном порядке. Короб в плане имеет размеры 140×140 мм.

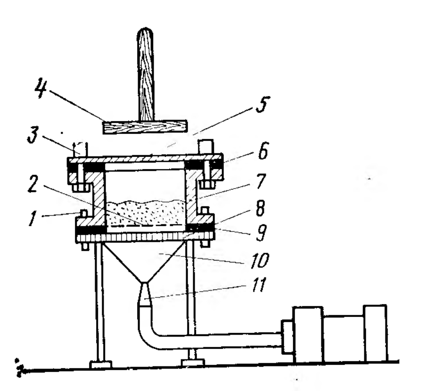


Рис. 59. Лабораторная отливочная установка для изготовления образцов древесноволокнистых плит

Короб 7 и воронка 10 крепятся между собой прижимными винтами 1. Для создания герметичности между коробом и перфорированной пластинкой 8 имеется резиновая прокладка 9, которая укладывается по контуру пластинки. Нижняя часть воронки заканчивается трубкой 11, служащей для стока воды и подсоединения вакуум-насоса.

Короб сверху плотно закрывается крышкой 5 с резиновой прокладкой 6 с помощью прижимных винтов 3.

Перед заливкой пульпы на перфорированную пластинку укладывают металлическую сетку 2 с ячейками в 2—3 мм, а затем при непрерывном перемешивании выливают приготовленную пульпу в короб отливочной установки.

После прекращения свободного вытекания воды на короб одевают крышку и подключают отливочную установку к вакуум-насосу.

Образцы выдерживают под вакуумом в течение 6—8 мин, после чего, сняв крышку и освободив прижимные винты 1, придерживая массу деревянным шаблоном 4 (рис. 59), снимают верхний короб, а затем вместе с сеткой снимают образец.

4. Тепловая обработка образцов. Образцы изоляционных плит перед тепловой обработкой предварительно подпрессовывают на холодном прессе. Для этой цели можно применять любой лабораторный гидравлический пресс, используемый для определения прочности образцов при сжатии. Образцы на сетке устанавливают на нижнюю плиту пресса, с двух сторон образца ставят металлические ограничители (два четырехгранных стержня) нужной толщины, равной заданной толщине образца, сверху на образец кладут металлическую пластинку и производят нагружение. Образец выдерживают под нагрузкой в течение 10—15 мин, а затем на той же сетке или на специальном поддоне его помещают в сушильный шкаф, где сушат при температуре 130—140° С до постоянной массы.

Образцы изоляционно-отделочных, полутвердых и твердых плит из отливочной установки устанавливают на горячий пресс, где они подвергаются термомеханической обработке при температуре 170—180° С в течение 20—25 мин. Так же, как при формовании изоляционных плит, заданная толщина изоляционно-отделочных, жестких и полужестких плит достигается применением металлических ограничителей.

5. Испытание образцов и обработка полученных результатов. Изготовленные образцы высушивают до постоянной массы, определяют их среднюю плотность, а затем из каждого образца вырезают плиту размером 140 × 100 мм и испытывают на прочность при изгибе, пользуясь методикой, изложенной в I части практикума. Расстояние между опорами принимают равным 120 мм.

Согласно ГОСТ 17177—71, расстояние между опорами при испытании изделий на изгиб измеряют при расстоянии между опорами 200 мм. Для этого надо иметь большие образцы, что в лабораторных условиях затруднительно. С другой стороны, изложенная в настоящей главе методика изготовления и испытания образцов древесноволокнистых плит вполне удовлетворяет учебным целям и позволяет выявить заданную зависимость (зависимость прочности образцов от тонкости помола древесного волокна).

Полученные результаты рекомендуется записывать по следующей форме:

Номер бригады	Вид плит	Тонкость помола волокна, °Ш-Р	Показатели свойств образцов							
			Средняя плотность, кг/м³				Прочность при изгибе, МПа			
			1	2	3	среднее	1	2	3	среднее
1	Мягкие (М-12)									
2										
3										
4	Мягкие (М-20)									
5										
6										

По полученным результатам каждая подгруппа (1, 2, 3 и 4, 5, 6-й бригад) строит график зависимости: «°Ш-Р — прочность образцов при изгибе». Анализируя данные таблицы и график, делают общие выводы о влиянии тонкости помола древесного волокна на прочность изоляционных и изоляционно-отделочных плит.

Лабораторное оборудование и приборы: 1. Отливочная установка лабораторная. 2. Пресс гидравлический холодного прессования 10-тонный. 3. Пресс гидравлический горячего прессования 10-тонный. 4. Прибор Шоппера-Риглера. 5. Комплект сетчатых поддонов размером 140 × 140 мм. 6. Весы технические Т-200. 7. Ртутный термометр. 8. Мерная посуда. 9. Сушильный шкаф или лабораторная сушилка с принудительной подачей теплоносителя.

ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ VIII

Китайцев В. А. Технология теплоизоляционных материалов. М., 1974.

Справочник по производству теплоизоляционных и акустических материалов. М., 1964.

Новосельский Н. Л., Кунин В. М., Дроздов И. Я. Строительные плиты из органического волокна. М., 1956.

ГОСТ 4598—74. «Плиты древесноволокнистые».

ПРИЛОЖЕНИЕ

Соотношение некоторых величин систем МКСГС и СИ

Наименование величин	Соотношение между единицами	
	система МКСГС	система Си
Длина	мк (микрон) ммк (миллимикрон) Å (ангстрем)	мкм (микрометр) нм (нанометр) 0,1 Н·м
Сила	кгс (килограмм-сила)	9,80665 Н (ньютонов)
Удельная сила тяжести	кгс/м³	9,80665 Н/м³
Давление, напряжение	кгс/см²	9,80665·10⁴ Па (точно) 0,1 МПа
То же	атм (физ.)	101325 Па
Плотность (объемная масса)	г/см³, кг/м³	г/см³, кг/м³
Работа и энергия	кгс·м	9,80665 Дж (джоулей)
То же	Вт·ч	3,6·10³ Дж
Мощность	кгс·м/с	9,80665 Вт
Вязкость	П (пуазы)	0,1 Н·с/м²
То же	кгс·с/м²	9,80665 Н·с/м²
Количество теплоты	ккал	4,1868·10³ Дж
Удельная теплоемкость	ккал/(кг·град)	4,1868·10³ Дж/(кг·К)
Теплопроводность	ккал/(м·ч·град)	1,163 Вт/(м·К)
Тепловой поток	ккал/ч	1,163 Вт
Теплопередача	ккал/(м²·ч·град)	1,163 Вт/(м²·К)

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Часть вторая. Лабораторные исследования влияния технологических факторов на свойства теплоизоляционных материалов